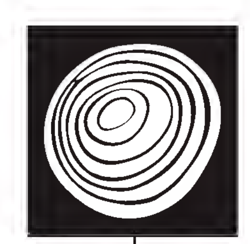

ISSN 1405-0471
Madera y Bosques
Vol. 20, Núm. 2 · Verano 2014 · Xalapa, Ver.
Pinus patula
Manejo forestal y diversidad genética
en Sierra Juárez, Oaxaca
INECOL

Madera y Bosques

vol. 20 núm. 2 Verano 2014



Madera y Bosques, Año 20, núm. 2, agosto 2014, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto de Ecología, A.C. Carretera Antigua a Coatepec núm. 351. Col. El Haya, C.P. 91070, Tel. (228) 8421800, ext. 6106, www.inecol.mx, mabosque@inecol.edu.mx. Editor responsable: Dr. Raymundo Dávalos Sotelo. Reserva de Derecho al Uso Exclusivo núm. 04-2012-102312120900-102, ISSN 1405-0471, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, Licitud de Título núm. 12906 y Licitud de Contenido núm. 10479, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Tavera Hermanos, S.A. de C.V., Av. Lázaro Cárdenas 3052. Col. Chapultepec Sur, C.P. 58260, Morelia, Michoacán, este número se terminó de imprimir el 31 de agosto de 2014 con un tiraje de 300 ejemplares.

La suscripción anual para 2014 es de $450.00+$250 para gastos de envío al interior de la República y $50.00 USD al extranjero (no incluye gastos de envío). Precio por ejemplares sueltos $200.00 y $20.00 USD, respectivamente. Incluye costos de envío por correo aéreo. Suscripciones en México en International Magazine Subscriptions, Tenochtitlan núm. 26 L10 M7, Ampl. Tlacuitlapa, 01650 México, D.F. México, Tel/Fax (55) 5643-2939c.e.: mmaximo@yahoo.com.mx.
Donaciones e intercambios, en el Instituto de Ecología, A.C., al c.e.: libros@inecol.edu.mx.



Contenido

artículos de investigación

notas científicas

Portada:
Plantación de pino en Calpulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca, México.

Foto de **Ricardo Clark Tapia**





Contents

research papers

scientific notes

Cover:
Pine plantation in Calpulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca, México.

Photo by **Ricardo Clark-Tapia**





En 2014 México ha tomado un camino lleno de grandes retos al aprobar una serie de reformas estratégicas que hace pocos años se consideraban impensables. Es una vía al desarrollo, bastante ambiciosa y erizada de grandes obstáculos, pero al mismo tiempo, con un enorme cúmulo de oportunidades, si se llevan las cosas por la ruta correcta. Las enormes inversiones que se esperan, particularmente en el sector energético y en el de telecomunicaciones, seguramente tendrán un enorme impacto en los recursos naturales, tanto en los renovables como en los no renovables, impactos que tendrán consecuencias imposibles de ignorar o minimizar. Corresponderá a las autoridades responsables de salvaguardar el buen estado de los recursos naturales atender de manera precisa y constante las situaciones que pudieran derivar en deterioro ambiental, para preverlas y en la medida de lo posible evitarlas o mitigarlas, pero, en última instancia, será la sociedad en su conjunto la que deberá estar atenta a cualquier posibilidad de afectación importante al ambiente. Cuando menos, para señalar la condición de amenaza o riesgo probable y para exigir que se tomen las medidas que sean necesarias para proteger el ambiente y las propiedades de los habitantes. Si las autoridades actúan de manera omisa, los daños que se causen tendrán incalculables repercusiones y disiparán cualquier beneficio económico que las actividades producto de estas reformas puedan tener. Esperemos, por el bien de todos los ciudadanos de este país, que las actividades se hagan de manera responsable y cuidadosa respetando el ambiente natural y a quienes habitan en él.

Este nuevo número de la revista incluye una mayor cantidad de artículos y notas científicas que cualquiera de los anteriores, debido principalmente a la gran demanda de los autores que cada vez se interesan más en ella. Esto, que nos llena de satisfacción, representa un mayor compromiso y requiere una respuesta logística más firme. Esta vez se incluyen 12 manuscritos, el doble de los que solíamos publicar hasta el año pasado y 33% más que el número anterior, con el cual inauguramos el nuevo formato. En consecuencia, el número de páginas aumenta y con ello, la necesidad de edición y formación. La demanda de los potenciales autores nos sirve de acicate para redoblar esfuerzos, los que esperamos se vean recompensados con el beneficio que recibirán los lectores al contar con un mayor número de artículos de gran calidad.

El primer trabajo, de Alfonso-Corrado *et al.*, se enfoca en el estudio genético de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham, la especie más importante en el ramo forestal en Sierra Juárez, Oaxaca, con la finalidad de evaluar el efecto del manejo forestal en la diversidad genética en sitios reforestados y de regeneración natural. Asimismo, busca determinar si la intensa explotación forestal de la mitad del siglo XX depauperó genéticamente a la especie en estudio. El análisis de agrupamiento efectuado sugiere que *P. patula* no está depauperado genéticamente por manejo forestal presente o pasado y tiene características en su historia de vida que promueven la diversidad genética, como altas tasas de entrecruzamiento. El segundo trabajo, de Domínguez-Calleros *et al.*, tuvo como objetivo documentar las características dasométricas, así como las condiciones ecológicas en las que se desarrollan dos poblaciones de *Pseudotsuga menziesii,* ubicadas en el área de influencia de la Reserva de la Biosfera La Michilía. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que en los sitios estudiados, solamente porcentajes menores al 3% de la población corresponden a *Pseudotsuga menziesii*. El tercer estudio, con la autoría de Ruiz-Aquino *et al.*, tuvo como objetivo generar ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de árboles de *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. y *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl., en un bosque de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. El siguiente estudio, de Corona-Mora *et al.*, es un trabajo de evaluación de *dos especies de selva seca* en gradientes ambientales en Michoacán, México: *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia*. La supervivencia de *A. plurijuga* varió de forma significativa en función de la altitud sobre el nivel del mar, y la altura de las plantas también fue diferente en cuanto a la altitud. Para *Ceiba aesculifolia* no hubo diferencias significativas en cuanto a supervivencia a diferentes altitudes, pero sí entre laderas.

El siguiente artículo es un análisis estadístico de los nombres comerciales de maderas en España, por Villasante *et al.* En él se examinan las denominaciones vulgares mediante la utilización de la estadística no paramétrica. La metodología empleada permite detectar los nombres comerciales más utilizados mediante la moda y caracterizar la dispersión que presentan los alternativos a través del Índice de Variación Cualitativa y el Índice Bimodal. Los resultados indican claras convergencias en los nombres vulgares de las frondosas europeas utilizadas en España. Otro artículo, de Ortega-Ortega y Vázquez-García documenta, entre otras cosas, los conocimientos locales sobre la planta *Satureja macrostema,* llamada comúnmente poleo. Se detalla su situación ambiental, conocimiento local y roles de género. Se describen las condiciones de distribución, luz y suelo. El trabajo fue realizado en San Miguel Mixtepec, comunidad zapoteca de los valles centrales de Oaxaca. Se concluye que el poleo aporta diversidad a la dieta y es un ejemplo de las actividades de subsistencia que realizan las mujeres de comunidades forestales. Un estudio de Sánchez Echeverri *et al.*, analiza la correlación entre composición química y respuesta mecánica para dos edades de culmos de bambú *Guadua angustifolia* Kunth. Se determinó el contenido de fibra soluble e insoluble y se determinó el módulo de ruptura (MOR) en las cuatro variedades de Guadua. Se realizó un análisis estadístico del contenido de compuestos químicos y la respuesta de flexión, obteniendo una correlación positiva entre el contenido de fibra y el MOR en las Guaduas maduras.

En un trabajo de Giménez *et al.*, se describe la anatomía comparada de madera de cuatro especies del género *Maytenus* del noroeste argentino: *Maytenus vitis-idaea, M. viscifolia, M. spinosa y M. cuezzoi,* recolectadas en Santiago del Estero y Salta, Argentina. El Análisis de Componentes Principales (PCA) mostró como variables significativas el diámetro de vasos, el espesor de pared de las fibras y el ancho de radios y mostró que *M. cuezzoi y M. viscifolia* tienen alta afinidad específica. Ordóñez-Candelaria y Bárcenas-Pazos determinaron las propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas *(Guadua aculeata, Guadua amplexifolia y Guadua velutina),* que son tres de las cinco especies del género *Guadua* que crecen en México, con la finalidad de fomentar su uso en la construcción, aprovechando su comportamiento estructural. El siguiente artículo, de Pérez-Vivar *et al.*, reseña la aptitud ecoturística en la sierra nevada de Texcoco, Estado de México. El estudio consistió en poner en funcionamiento un sistema de cómputo desarrollado para determinar la aptitud de áreas forestales para realizar actividades ecoturísticas en el sitio de estudio. El producto generado fue un mapa con valores de aptitud para cada actividad considerada. Se comprobó que el sistema representa una herramienta valiosa, eficaz y es un eficiente instrumento de apoyo al proceso de toma de decisiones y planificación del uso de la tierra. El número se completa con dos notas científicas. La primera, por Ruiz-Montiel *et al.*, registra los árboles y arbustos del Parque Ecológico Molino de San Roque, municipio de Xalapa, Veracruz. Este parque se encuentra dentro del bosque mesófilo de montaña, y en él se registraron las especies de árboles y de arbustos presentes. El último trabajo de este número de la revista describe los componentes químicos de la madera y la corteza de *Haematoxylum brasiletto* Karsten (Leguminosae), siendo sus autores Ávila-Calderón y Rutiaga-Quiñones. Se determinaron las cenizas, el análisis de las cenizas, las sustancias extraíbles, la holocelulosa y la lignina. El análisis de varianza de los resultados indicó que la cantidad de componentes químicos es diferente estadísticamente ($P<0.01$) entre los tres tipos de material, a excepción de los extraíbles solubles en ciclohexano y la lignina. Como los lectores podrán atestiguar, se trata de doce trabajos de investigación de la más alta calidad y pertinencia y estamos seguros que ayudarán a subsanar algunas de las más importantes lagunas de información que sobre el tema forestal se tienen en Iberoamérica.

Raymundo Dávalos Sotelo

Editor



In 2014 Mexico has taken a path full of challenges by adopting a series of strategic reforms a that a few years ago were considered unthinkable. It is a way to development, quite ambitious and bristling of major obstacles, but at the same time, with an enormous array of opportunities, if things are carried through the correct path. The huge investments which are expected, particularly in the energy sector and in the telecommunications, surely will have a huge impact in natural resources, both renewable as the non-renewable, impacts that will have consequences impossible to ignore or minimize. It is up to the responsible authorities to safeguard the condition of natural resources addressing situations that might result in environmental degradation, to anticipate them and to the extent possible avoid or mitigate them accurately and constantly, but ultimately it will be society as a whole which should be attentive to any possibility of important effects on the environment. At the very least, to signal the condition of threat or high risk and to demand that measures are taken which are necessary to protect the environment and the properties of the inhabitants. If the authorities act in a remiss manner, the damage caused will have incalculable repercussions and dissipate any economic benefit that the activities produced by these reforms may have. Hopefully, for the good of all citizens of this country, the activities will be made responsibly and carefully respecting the natural environment and those who live in it.

This new issue of the journal includes a greater amount of articles and scientific notes that any of the prior issues, mainly due to the great demand by authors who increasingly are more interested in it. This, that fills us with satisfaction, represents a much greater commitment and requires a firmer logistics response. This time we include 12 manuscripts, double that we used to publish until last year, and 33% more than the previous number, with which we inaugurated the new format. As a result, the number of pages increased and with it, the need for editing and training. The demand for potential authors serves as huge incentive to redouble efforts, which we hope will be rewarded with the greatest benefit that readers will receive by having a greater number of high-quality articles.

The first paper by Alfonso-Corrado *et al.*, focuses on the genetic study of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., the most important species in the forest group of the Sierra Juarez in Oaxaca, in order to evaluate the effect of forest management on genetic diversity of reforested sites and natural regeneration. It also seeks to determine whether the intensive logging of the mid-twentieth century genetically impoverished the species. The analysis suggested that *P. patula* is not genetically impoverished by present or past forest management and has characteristics in its life story that promote genetic diversity and high rates of inbreeding. The second paper by Domínguez-Calleros *et al.*, aims at documenting the dasometric characteristics and ecological conditions that develop in the two populations of *Pseudotsuga menziesii*, located in the area of influence of the La Michilía Biosphere Reserve. The results obtained in this study show that only less than 3% of the population corresponds to *Pseudotsuga menziesii*. Regarding the study of cones and seeds, it is important to note the low level of production recorded in addition to the low level of viability that these presented. The following article by Ruiz-Aquino *et al.*, estimates tree biomass as a means to determine the existing amounts of organic carbon in each of the tree components. The aim of this study was to generate allometric equations for estimating aboveground biomass of trees of *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. and *Q crassifolia* Humb. & Bonpl., in a forest community of Ixtlan de Juarez, Oaxaca, Mexico. Corona-Mora *et al.*, study human induced changes in climate, both at local and regional scales and how they alter the conditions for plant establishment. Survival and growth of provenances of *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia* were evaluated in an altitudinal gradient and in two slopes in the city of Morelia, Michoacán Survival of *A. plurijuga* varied significantly in response to the altitude above sea level. For *Ceiba aesculifolia* plants there were no significant differences in survival at different altitudes but there were between slopes.

A paper by Villasante *et al.*, study the subject of commercial naming for lumber. This study uses statistical techniques to analyze common names. The methodology employed detects the most commonly used commercial names by

means of the mode, and characterizes the dispersion presented by the alternatives through the Index of Qualitative Variation and the Bimodality Index. The results indicate a clear convergence in common names for European hardwoods. The rest of the lumbers have dispersions associated principally to only two names (tropical woods) or to a larger number of names (softwoods and non-tropical American hardwoods). Ortega-Ortega and Vázquez García discuss non Timber Forest Products (NTFP) arguing that they contribute to the food security of forest communities. This paper pursues three objectives: to describe the distribution, light and soil conditions of a NTFP called poleo (*Satureja macrostema*); to document local knowledge on this plant; to analyze gender differences in terms of access, use and trade. Research was conducted in San Miguel Mixtepec, a Zapotec community of the Central Valleys of Oaxaca. The plant is informally traded in regional markets at very low prices. However, its barter or sale contributes to diversify local diets and is a good example of women's subsistence activities in the forest communities of Mexico. Sánchez-Echeverri *et al.*, used wet chemical analysis was to determine carbohydrate structural contents, as well as ash and extractive contents on four *Guadua Angustifolia* Kunth forms *(f. Cebolla, f. Macana, f. Rayada Amarilla* and *f. Castilla)* with two different growth ages (young and mature). A correlation between contents of chemical compounds and bending behavior (MOR modulus) was carried out showing the relationship between soluble fibers and bending response for mature *Guadua* culms.

Giménez *et al.,* studied the Comparative wood anatomy of *Maytenus* in Northwestern Argentina (South America). This paper studies four species of the genus *Maytenus* living in Northwest Argentina: *Maytenus vitis-idaea, M. viscifolia, M. spinosa and M. cuezzoi.* The specimens were collected in Santiago del Estero and Salta, Argentina. Principal Component Analysis (PCA) showed vessel diameter, fibre wall, and ray width to be significant variables. CA showed *M. cuezzoi and M. viscifolia* to have the highest affinity. The next paper, by Pérez-Vivar *et al.*, describes a study that consisted in implementing a computer (software) system developed for determining the suitability for forest areas in order to carry out ecotourism activities in the Sierra Nevada of Texcoco. The generated product was a map of suitability values. The functioning of the system was assessed, showing a reliable performance, proving to be a valuable and effective tool, as an instrument to support the process of decision making and land use planning. Ordóñez-Candelaria and Bárcenas-Pazos present a paper based on a test program on some physical and mechanical properties of three out of the five *Guadua* species growing in Mexico; the study was made to promote their use in construction taking advantage of their structural behavior. Those species were *Guadua amplexifolia*, *Guadua velutina* and *Guadua aculeata.* Values of bending strength (MOR), in green condition, were, generally, lower for base specimens and higher for top specimens. The issue includes two scientific notes. The first one by Ruiz Montiel *et al.*, describes a study made to assess the impacts of fragmentation due to various anthropogenic activities that have had an impact on the vegetation present in Molino de San Roque ecological park. The study area within the park, located in the cloud forest, was found to contain a total of 58 species of trees and 48 of shrubs, distributed within 54 families. Finally, Ávila-Calderón and Rutiaga-Quiñones describe a chemical analysis that was performed on the sapwood, heartwood and bark of *Haematoxylon brasiletto* Karsten (palo de brasil) to identify its main chemical components. Ash, ash analysis, extractives, holocellulose and lignin content were determined. The variance analysis of the results indicated that the amount of chemical components is statistically different ($P<0,01$) between types of wood and bark except cyclohexane extractives and lignin. As readers can attest, these are twelve works of the highest quality which describe relevant research and we are confident that they will help to remedy some of the most important gaps in information that exist in the forest sector in Latin America and Spain.

Raymundo Dávalos Sotelo

Editor

Madera y **Bosques** vol. **20**, núm. **2 : 11-22** Verano **2014**



Manejo forestal y diversidad genética de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl, & Cham, en Sierra Juárez, Oaxaca

Forest management and genetic diversity of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl, & Cham, in Sierra Juarez, Oaxaca

Cecilia Alfonso-Corrado[1], Jorge Campos-Contreras[2], Gerardo Sánchez-García[1], Alejandro Monsalvo-Reyes[2] y Ricardo Clark-Tapia[1*]

1 Instituto de Estudios Ambientales. Universidad de la Sierra de Juárez. Oaxaca, México.

2 Laboratorio de Bioquímica Molecular-Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO). Fes–IZTACA-LA, Unam. México.

* Autor para correspondencia. rclark@juppa.unsij.edu.mx

RESUMEN

Este trabajo se enfoca en el estudio genético de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham, la especie más importante en el ramo forestal en Sierra Juárez, Oaxaca, con la finalidad de evaluar el efecto del manejo forestal en la diversidad genética en sitios reforestados y de regeneración natural. Asimismo, busca determinar si la intensa explotación forestal de la mitad del siglo XX depauperó genéticamente a la especie en estudio. Se emplearon tres microsatélites, para seis sitios, tres bajo manejo forestal de uno, cinco y 18 años y tres con regeneración natural. Los resultados obtenidos de riqueza alélica (A_o = 59 y A_e = 16) y diversidad genética (H_e = 0,802) fueron altos, y no existen diferencias significativas en la diversidad genética entre sitios manejados y de regeneración natural. Por otro lado, se encontró una estructuración genética intermedia según los criterios de Wright (F_{st} = 0,056) entre los sitios. El análisis de agrupamiento de UPGMA sugiere que la procedencia de individuos de los sitios manejados fue de un solo sitio, Capulálpam de Méndez. En conclusión *P. patula* no ha sido depauperado genéticamente por manejo forestal presente o pasado y tiene características en su historia de vida que promueven la diversidad genética como altas tasas de entrecruzamiento. Asimismo, la alta abundancia de individuos en los sitios actúa como factor amortiguador en la pérdida alélica. Sin embargo, una inadecuada selección de árboles padre y un bajo número efectivo de individuos pueden afectar las frecuencias alélicas estables y llevar a una pérdida alélica considerable en el futuro.

PALABRAS CLAVE: Capulálpam de Méndez, FAPATUX, pérdida alélica, regeneración.

ABSTRACT

This work focuses on the genetic study of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., the most important species in the forest sector of the Sierra Juarez in Oaxaca, in order to evaluate the effect of forest management on genetic diversity of reforested sites and natural regeneration. It also seeks to determine whether the intensive logging of the mid-twentieth century genetically impoverished the species. Three microsatellites were used for six sites, covering three forest areas that had been managed for one, five and eighteen years, and three areas of natural regeneration. The resulting allelic richness (A_o = 59 and A_e = 16) and genetic diversity (H_e = 0,802) was high, and there were no significant differences in genetic diversity between managed and natural regeneration sites. However, there was a lack of genetic structure (F_{st} = 0,056) at sites with moderate gene flow ($N_e m$ = 4,19). Furthermore, UPGMA cluster analysis suggested that the genesis of individual trees in the managed sites were taken from one site on Capulálpam de Méndez. In conclusion *P. patula* has not been genetically impoverished by present or past forest management and has characteristics in its life story that promote genetic diversity and high rates of inbreeding. Also, the great abundance of in-bred individuals in the sites are actually a dampening factor on allelic loss. However, an inadequate selection of parent trees and a low effective number of in-bred individuals can affect the stability of allelic frequency, and lead to considerable allelic loss in the future.

KEY WORDS: Capulalpam de Méndez, FAPATUX, allelic loss, regeneration.

Introducción

Los marcadores moleculares de ADN han sido propuestos como una herramienta básica para evaluar el efecto del manejo forestal sobre la variabilidad genética y sistemas reproductivos de especies forestales (Lee *et al.,* 2002; du Cros, 2004; Degen *et al.,* 2006). Por lo que su uso es ineludible a nivel mundial, en los planes de manejo (Lee *et al.,* 2002; Rajora y Pluhar, 2003; Glaubitz *et al.,* 2003; Dostálek *et al.,* 2011). El estudio genético de poblaciones de especies bajo tratamiento silvicultural previene que la diversidad genética se erosione y, junto con ella, la capacidad de las especies para responder a factores bióticos como parásitos, enfermedades y depredadores y abióticos, como el cambio climático (Schaal *et al.,* 1991; Yanchuk *et al.,* 2008; Hedrick, 2011; Dvorak, 2012),

A pesar de la relevancia de los estudios genéticos en especies bajo manejo forestal, en el mundo, pocas especies han sido sujetas a este tipo de estudios, particularmente en ecosistemas tropicales (Lee *et al.,* 2002; Glaubitz *et al.,* 2003; Degen *et al.,* 2006) y templados (Rajora y Pluhar, 2003; Luna-Rodríguez *et al*., 2005; Núñez-Medrano, 2010; Dostálek *et al.,* 2011). En México, los trabajos con marcadores moleculares, particularmente con microsatélites son escasos, a pesar de ser uno de los marcadores moleculares con mayor polimorfismo (Luna-Rodríguez *et al*., 2005; Núñez-Medrano, 2010), esto probablemente debido a su alto costo monetario (Rentería-Alcántara, 2007; Loo, 2011), la falta de conocimientos por parte de la industria forestal de este tipo de herramientas (Palmberg-Lerche, 2002) y al escaso interés de colaboración entre instituciones de educación superior y las organizaciones forestales del país. Los pocos estudios en México, realizados con microsatélites en el género *Pinus* indican que la diversidad genética (H_e) detectada es alta y la mayoría de ésta se distribuye dentro de poblaciones (Karhu *et al.,* 2006; Dvorak *et al.,* 2009), siendo *P. patula*, la especie que presenta una menor diversidad (Dvorak *et al.,* 2009).

En el estado de Oaxaca, las comunidades indígenas de Sierra Juárez gozan en la actualidad de un prestigio internacional debido a su excelente manejo forestal comunitario (Chapela, 1999; UZACHI, 2003), que conserva el recurso forestal de la región, la biodiversidad asociada y genera empleos e ingresos económicos para sus habitantes (Antinori, 2007; Sánchez-García, 2011). No obstante, esta historia de buen manejo no siempre fue así, ya que las comunidades pasaron por un largo proceso de explotación forestal que afectó seriamente sus recursos naturales en el siglo XX (UZACHI, 2003; Fuente-Carrasco y Barkin, 2011). Una de las concesiones para explotación forestal más documentada es la otorgada de 1956 a 1982 a la fábrica de papel Tuxtepec (FAPATUX) con un equivalente a 251 825 ha de bosques de la Sierra Juárez (Merino-Pérez, 2004). Durante este periodo se utilizó el “Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares” (MMOBI) basado en la corta selectiva de árboles dominantes, dejando a los árboles menos deseados (UZACHI, 2003).

Al lograr la autonomía de sus recursos en el año de 1983, las comunidades de Sierra Juárez impulsaron proyectos de manejo forestal comunitario conducentes a recuperar los bosques dañados por FAPATUX, centrándose en la regeneración de los pinos (Chapela, 1999; Merino-Pérez, 2004), especialmente con la especie *Pinus patula* Schiede ex Schltdl, & Cham (UZACHI, 2003). En el año de 1993, las comunidades de Sierra Juárez sustituyen el MMOBI por alternativas silvícolas basadas en árboles padres, partiendo del Método de Desarrollo Silvícola o MDS (UZACHI, 2003) y el método de corte a matarrasa en franja a partir del año 2004 (SmartWood, 2006).

Diversos autores han sugerido que la calidad comercial del arbolado, así como la calidad genética de los pinos se vio empobrecida durante la segunda mitad del siglo XX, debido a la selección y extracción de individuos adultos de mayor porte y tamaño (Chapela, 1999; Merino-Peréz, 2004; Antinori, 2007), sin embargo, no existen estudios genéticos que confirmen esta hipótesis y evalúen el efecto actual del manejo forestal comunitario en la diversidad genética de las poblaciones de *Pinus patula*.

Objetivo

Determinar el efecto del manejo forestal en la diversidad genética de poblaciones reforestadas con *Pinus patula* en la comunidad de Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez,



Oaxaca y a su vez, compararlas con poblaciones con regeneración natural presentes en Sierra Juárez, utilizando marcadores moleculares de tipo microsatélites.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

Sierra Juárez es una región de gran diversidad de especies y ambientes debido a la compleja fisiografía y a la existencia de poca fragmentación. Se localiza entre las coordenadas: 16° y 18° Norte, 95° y 96° Oeste, con alrededor de 17 000 km^2 de extensión (Gómez-Mendoza *et al.*, 2006). La temperatura media anual oscila entre 16 °C y 24 °C y presenta un régimen de lluvias de verano, entre los 600 mm y 1200 mm (INEGI, 1998). En la región central de Sierra Juárez, se localiza la comunidad de Capulálpam de Méndez la cual tiene una extensión de 7300 ha (INEGI, 1998). Su ubicación geográfica es 17°18' Norte, 96° 27' Oeste y se encuentra a una altura promedio de 2120 msnm (PMD, 2009).

Descripción de la especie

Pinus patula Schiede ex Schltdl, & Cham, es una especie endémica de México, se distribuye en los estados de Chiapas, Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz (Velázquez *et al.*, 2004), en las regiones de la Sierra Madre Oriental, la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre del Sur, abarcando también el Macizo de Oaxaca y la Sierra de Oaxaca (Sánchez-González, 2008). Los árboles de esta especie tienen un tronco recto que llega a medir hasta 35 m - 40 m de alto y entre 50 cm y 120 cm de diámetro (Perry, 1991), posee una corteza gruesa de color gris-café oscuro, con profundas fisuras verticales en la parte inferior del tronco.

Sus ramas son frecuentemente multinodales, delgadas y a menudo caídas; sus acículas de 11 cm a 27 cm de largo y 0,5 cm a 0,9 mm de ancho, tres-cuatro por hacedillo son de color verde pálido a verde amarillento. Los conos son duros, de forma cónica-largo y ligeramente curvados y miden entre 5 cm y 10 cm de largo por 4,0 cm - 6,5 cm de ancho (Velázquez *et al.*, 2004).

Elección de sitios y colecta de muestras

Para determinar la diversidad y estructura genética de *P. patula* se seleccionaron tres sitios bajo manejo forestal y tres sitios de regeneración natural (Tabla 1). Los tres sitios con manejo forestal se localizan en la comunidad de Capulálpam de Méndez y comprenden dos sitios de matarrasa en franja reforestados con plántulas de pino con edades de uno (ST1) y cinco años (ST2) y un sitio reforestado con edad de 18 años (ST3) manejado con el método MDS.

Por otro lado, se seleccionaron tres sitios con regeneración natural donde la empresa FAPATUX extrajo en el pasado árboles adultos, cada sitio corresponde a una comunidad de Sierra Juárez: el primero ubicado en Capulálpam de Méndez (CM), el segundo en El Cajón (ELC) en

Tabla 1. Ubicación geográfica de de los sitios muestreados.

Sitio	*Tipo*	*Altitud msnm*	*Latitud*	*Longitud*
Capulálpam de Méndez (CM)	Regeneración natural	2783	17° 23'22,4 N	96° 30'52,9 O
Jaltianguis (ELC)	Regeneración natural	2634	17° 34'47,8 N	96° 30'52,6 O
Santiago Comaltepec (SC)	Regeneración natural	2782	17° 19'35,7 N	96° 24'09,0 O
Sitio de un año (ST1)	Manejo forestal	2618	17° 18'28,2 N	96° 22'58,2 O
Sitio de cinco años (ST2)	Manejo forestal	2266	17° 18'21,1 N	96° 23'05,1 O
Sitio de 18 años (ST3)	Manejo Forestal	2324	17° 19'12,4 N	96° 23'21,3 O

Santa María Jaltianguis y el tercero en Agua Fría, Santiago Comaltepec (SC). El contar con dos poblaciones externas al municipio de Capulálpam de Méndez sirvió para comparar la diversidad genética encontrada con otros sitios en la Sierra Juárez.

En los sitios seleccionados, se realizó un transecto de 2,5 km de longitud en donde se colectaron, cada 130 metros aproximadamente, acículas jóvenes de cada individuo. El tejido foliar obtenido en campo se depositó en nitrógeno líquido y se trasladó al laboratorio, donde se congeló en un refrigerador (REVCO) a –20 °C, para su posterior análisis molecular.

Análisis genéticos

Se extrajo DNA de acículas de 108 individuos (18 individuos x 6 sitios = 108 individuos) siguiendo el protocolo DNeasy Plant Minikit QIAGEN. La calidad y la cantidad del ADN se visualizaron en geles de agarosa al 1%. Se probaron ocho microsatélites nucleares (ptTX2123, ptTX2142, ptTX3012, ptTX3019, ptTX3020, ptTX3025; ptTX3030 y RPS34b) utilizados en trabajos previos en el género *Pinus* (Williams *et al.*, 2000).

Un análisis genético preliminar realizado con cinco individuos de cada población, mostró tres microsatélites polimórficos (ptTX2123, ptTX2142 y ptTX3025). La reacción de amplificación utilizada contiene un volumen de 25 µl de: 1x buffer Invitrogen™ (200 mM Tris–HCl (pH = 8,4; 500 mM de KCl), 2 mM de $MgCl_2$ (Invitrogen™), 12,8 µl de agua purificada (Invitrogen™) 10 ng de DNA de cada muestra; 25 µM de cada dATP, dGTP, dCTP y dTTP de Pharmacia, 10 mM de Oligonucleótido (primer F), 10 mM de Oligonucleótido (primer R) (Invitrogen™) y 1 U de *Taq* DNA polimerasa (Invitrogen™).

La amplificación se realizó con el Termociclador Mycycler™ Thermal Cycler–BIORAD (2008) y el programa de PCR consistió en: 94 °C durante tres minutos y 94 °C por 10 segundos (etapa de desnaturalización), una temperatura (°C) variable y específica para cada microsatélite (57 °C; ptTX2123, 65 °C; ptTX2142 y 59 °C; ptTX3025) durante 10 segundos (etapa de alineamiento), 72 °C por 10 segundos (etapa de extensión) por 30 ciclos y por último una extensión final a 72 °C por cinco minutos.

Los productos de PCR obtenidos se visualizaron en geles de agarosa al 1,2% a 110 Volts durante 45 minutos y se tiñeron con Bromuro de Etidio, para luego visualizarse con luz ultravioleta. Los productos amplificados se diluyeron en relación 1/10 w/w o 1/25 w/w según la calidad del producto de PCR, se mezcló 1 µl de la dilución del producto amplificado; 9,75 µl de HiDi Formamide y 0,25 µl ROX-500, esta mezcla se analizó en un equipo 3100 Genetic Analyzer ABIPRISM de Applied Biosystem por el método de análisis de fragmentos.

Una vez obtenidos los electroferogramas, se identificó el tamaño de cada uno de los fragmentos mediante el programa Gene Scan Analyzer 3.7 de Applied Biosystems. Posteriormente, se procedió a genotipificar cada uno de los individuos; con los genotipos obtenidos se construyó una matriz de datos para el análisis estadístico. Los datos obtenidos fueron en primer lugar, analizados con el programa Micro-Checker v2.2.3 (Van Oosterhout *et al.*, 2004) con la finalidad de detectar posibles errores de genotipado y proceder a su corrección.

Análisis estadísticos

Diversidad genética

Se calculó la cantidad de alelos observados totales (A_o) y el número de alelos únicos (A_e) por sitio de muestreo y para el total, con el programa ARLEQUIN 3.5.1.2 (Excoffier y Lischer, 2010) con 10 000 permutaciones. Mediante una prueba de *chi*-cuadrada (X^2) (Zar, 1984), se analizó si existían diferencias significativas entre alelos observados totales (A_o) y el número de alelos únicos (A_e) en sitios con regeneración natural y sitios manejados,

También se calcularon dos parámetros para estimar la diversidad genética de las poblaciones de *Pinus patula:* (1) la heterocigosidad observada (H_o) y la heterocigosidad esperada (H_e) sin sesgo (Nei, 1978). Ambos índices fueron calculados usando el programa ARLEQUIN 3.5.1.2 (Excoffier y Lischer, 2010). Asimismo, se realizó una prueba de *chi*-cuadrada (X^2) (Zar, 1984) para determinar



si la proporción de heterócigos se encuentran en equilibrio de Hardy-Weinberg con los valores de H_o y H_e por sitio de muestreo y el total. Si el valor calculado (H_o) es mayor que el teórico (H_e), se rechaza la hipótesis nula

Estructura genética

Los coeficientes de fijación *F* de Wright (1951) se obtuvieron por medio de un Análisis de Varianza Molecular (AMOVA) mediante el programa ARLEQUIN 3.5.1.2 (Excoffier y Lischer, 2010) utilizando dos modelos mutacionales: Alelos Infinitos o IAM (Infinitive Alleles Model) (Kimura y Crow, 1964), y Paso a Paso o SMM (Stepwise Mutation Model) (Slatkin, 1995). Asimismo, bajo la suposición del modelo de islas (Wright, 1951), se estimó el estadístico N_em, (flujo génico) de acuerdo con Crow y Aoki (1984).

La asociación entre los sitios bajo manejo forestal y de regeneración natural se evaluó usando el estimador de similitud de distancias genéticas de Nei (1978). Con la matriz obtenida se realizó un agrupamiento por pares no ponderados usando la media aritmética (UPGMA) con el programa TFPGA (Miller, 2000). Además, con el TFPGA se realizó un análisis de re-muestreo para 1000 réplicas para probar la fortaleza de los nodos en el dendograma. Adicionalmente, con la finalidad de comprender mejor las relaciones geográficas e interrelaciones genéticas entre los sitios manejados y de regeneración natural, se aplicó un análisis de componentes principales (PCA, por su siglas en inglés) basado en la matriz de correlación obtenida de las frecuencias alélicas estandarizadas de los tres *loci* usando para ello el programa STASTISTICA Versión 7,0 (Stat Soft, 2004),

Resultados

Diversidad genética

El análisis de errores de genotipado reveló que dos *loci* (ptTX2123 y ptTX2142) presentaban alelos nulos, en su mayoría en bajas frecuencias en menos de 2% de los individuos analizados. No se encontraron errores de tartamudeo y pérdida de alelos en ninguno de ellos. Luego de corregir las frecuencias alélicas y aplicar la corrección de Bonferroni, los tres *loci* se encontraron en equilibrio de H-W.

Se obtuvieron en total 59 alelos en los seis sitios estudiados. El sitio que mostró mayor riqueza en alelos observados (A_o) y únicos (A_e) fue el sitio ELC, con $A_o = 33$ y $A_e = 6$ respectivamente, y el de menor riqueza alélica $A_o = 24$ y $A_e = 0$, correspondió al ST1 (Tabla 2). Los valores de riqueza alélica (A_o y A_e) fueron, en promedio, más altos en los sitios con regeneración natural que en los manejados; sin embargo, no hubo diferencias significativas para alelos observados ($X^2 = 1,25$; $P > 0,67$) y alelos únicos ($X^2 = 1,25$; $P > 0,67$) entre sitios (Tabla 2).

En términos generales, la región de Sierra Juárez mostró una diversidad genética alta ($H_e = 0,794 \pm 0,022$). Se encontró que la diversidad genética total es ligeramente mayor ($H_e = 0,824 \pm 0,033$) en los sitios con regeneración natural que en los manejados ($H_e = 0,763 \pm 0,007$). El sitio Las Maravillas (ST1) presentó la menor diversidad genética ($H_e = 0,769 \pm 0,126$); sin embargo, no mostró diferencias significativas con las demás áreas de estudio ($X^2 = 15,33$; $P > 0,43$). A nivel de sitios como en conjunto (los seis sitios) no existe equilibrio de Hardy y Weinberg, por lo que se observó deficiencia de heterocigotos (Tabla 2).

Estructura genética

En términos generales se encontró que, para modelos mutacionales (IAM y SMM), los sitios de muestreo en conjunto ($F_{st} = 0,059$; $R_{st} = 0,101$; $P > 0,001$), manejados ($F_{st} = 0,019$; $R_{st} = 0,007$; $P > 0,001$) y de regeneración natural ($F_{st} = 0,028$; $R_{st} = 0,050$; $P < 0,001$) no están diferenciados genéticamente. Se obtuvieron valores del coeficiente de endogamia F_{is} altos en el total de sitios ($F_{is} = 0,340$; $P > 0,001$), ($F_{is} = 0,265$; $P > 0,001$), manejados y regeneración natural ($F_{is} = 0,332$; $P > 0,001$). Asimismo, se encontró un flujo génico moderado en el total de los sitios ($N_em = 4,19$), de regeneración natural ($N_em = 7,75$) y manejados ($N_em = 8,16$).

Finalmente, el análisis de agrupamiento basado en las distancias genéticas reveló la separación entre sitios de

TABLA 2. Diversidad genética de los sitios manejados y de regeneración natural de *Pinus patula* en Sierra Juárez.

Sitio	A_o	A_e	H_o	H_e	*EHW*
CM	28	3	0,696 (0,099)	0,790 (0,046)	**
ELC	33	6	0,669 (0,139)	0,845 (0,029)	**
SC	28	3	0,554 (0,205)	0,838 (0,026)	***
Promedio	29,6(2,887)	4,00(1,732)	0,640 (0,075)	0,824 (0,030)	***
ST1	24	0	0,746 (0,092)	0,769 (0,126)	NS
ST2	31	2	0,579 (0,048)	0,775 (0,074)	**
ST3	27	2	0,648 (0,098)	0,765 (0,085)	**
Promedio	27,33 (3,512)	1,33(1,150)	0,658 (0,084)	0,763 (0,007)	**

A_o, número de alelos observados; A_e, número de alelos únicos; H_o, Herecigocidad observada; H_e, Heterocigocidad esperada (Nei, 1978). En parentesis están las desviaciones estándares. EHW; Equilibrio de Hardy y Weinberg; el número de asteriscos indica desviación del equilibrio según su grado de significancia.* $P \leq 0,05$; **$P \leq 0,01$; ***$P \leq 0,001$. Ver tabla 1 para el significato de CM. ELC. SC. ST1. ST2 y ST3.

regeneración natural y manejados, con un soporte de 100% (Fig. 1). La disgregación entre sitios con regeneración natural no está lo suficientemente marcada, en contraste con lo observado en sitios manejados, donde el sitio ST1 está separado de ST2 y ST3, con un soporte de 93%. Los tres sitios manejados muestran una relación cercana, formando un mismo grupo, mientras que los tres sitios con regeneración natural constituyeron otro grupo con una mayor amplitud de distribución (Fig. 1).

Un resultado similar se obtuvo con el PCA, donde los dos componentes estandarizados del factor 1 y 2 de las frecuencias alélicas explican 82% de la varianza total (Fig. 2). En este análisis, el eje F1 es claramente vinculado a las poblaciones con regeneración natural, mientras el eje F2 es esencialmente vinculado a las poblaciones manejadas.

Este análisis permite observar la presencia de alelos compartidos entre las poblaciones de regeneración ausentes en las poblaciones manejadas. La matriz de correlación obtenida mostró una correlación positiva significativa entre las tres poblaciones manejadas y la población CM, en contraparte con una menor correlación con las poblaciones ELC y SC (Tabla 3).

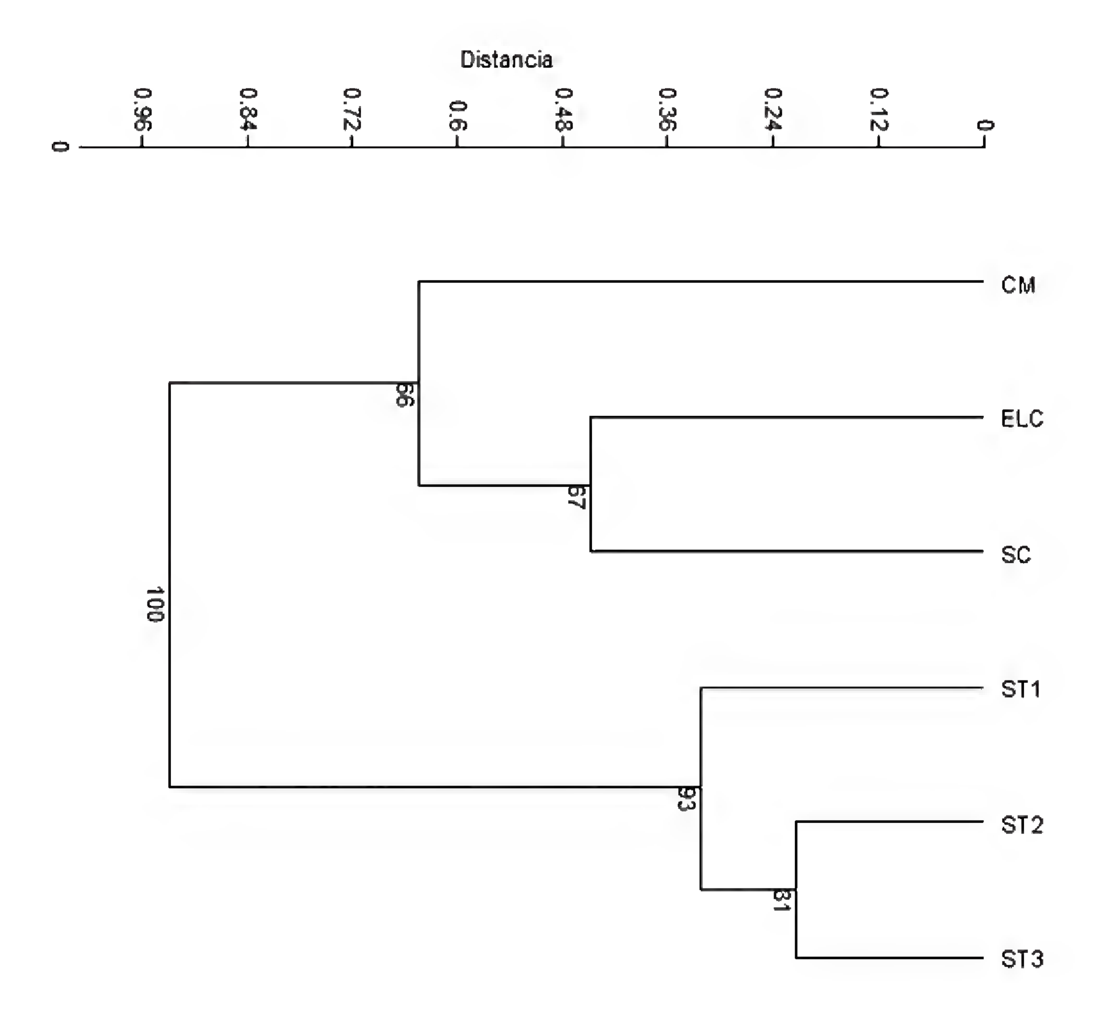


FIGURA 1.- Fenograma basado en las distancias genéticas de Nei (1978). Los números en cada nodo representan el porcentaje (%) de fortaleza obtenida de 1000 réplicas de re-muestreo.



FIGURA 2. Dispersión en dos dimensiones representando la relación entre el factor 1 y 2 del análisis de componentes principales utilizando las frecuencias alélicas de los tres *loci*.

TABLA 3. Matriz de correlación (Pearson) de los sitios manejados y de regeneración natural de *Pinus patula* en Sierra Juárez.

Variables	*CM*	*ELC*	*SC*	*ST1*	*ST2*	*ST3*
CM	1	0,550	0,634	0, 622	0, 702	0, 663
ELC	0,550	1	0,612	0, 207	0, 208	0, 219
SC	0,634	0,612	1	0,458	0,341	0,385
ST1	0,622	0,207	0,458	1	0,769	0,639
ST2	0,702	0,208	0,341	0,769	1	0,819
ST3	0,663	0,219	0,385	0,639	0,819	1

Discusión

La diversidad genética observada en las poblaciones de *P. patula* (A_o = *59;* H_E = 0,802), es comparable a la de otras especies de pinos que han estado sujetas a manejo forestal histórico como *P. strobus* (A_o = 54; H_e = 0,48) (Marquardt y Epperson, 2004), o especies bajo manejo silvicultural que persiste en la actualidad, como *P. contorta* (A_o = 83; H_e = 0,73; Thomas *et al*. (1999), *P. pseudostrobus* (A_o = 14; H_e = 0,183) y *P. montezumae* (A_o = 13; H_e = 0,199) (Núñez-

Medrano, 2010). Este resultado sugiere que el impacto en la calidad genética de la especie en Sierra Juárez durante la segunda mitad del siglo XX, debido a las actividades forestales de la empresa FAPATUX, no fue drástica como lo han sugerido diversos autores (Merino-Pérez, 2004; Antinori, 2007).

Este resultado sugiere, por un lado, una alta resiliencia genética de *P. patula,* que sustenta la propuesta de Kramer *et al.* (2008) de que la degradación genética, si es que sucede, le toma muchas décadas presentarse, a diferencia de la degradación ecológica que es inmediata. En este contexto, Steinitz *et al.* (2012) publicó que procesos de homogenización debido a flujo génico entre poblaciones o de introgresión, pueden facilitar la llegada de nuevos alelos y mantener niveles considerables de variación genética en plantaciones de *Pinus halepensis*. A futuro, para conocer los procesos de pérdida o recuperación genética en *P. patula*, se recomienda analizar más poblaciones, incorporando más plantaciones y poblaciones no aprovechadas en el pasado para realizar un diagnóstico genético más adecuado del efecto del manejo forestal.

La riqueza alélica presente en los sitios manejados es menor que los sitios con regeneración natural, especialmente ST1 que tiene ausencia total de alelos exclusivos ($A_e = 0$), lo cual se ha considerado como efecto negativo de la extracción de individuos (White *et al.,* 2002). Una estrategia forestal común alrededor del mundo involucra el uso de semillas de uno o pocos árboles padre, o pocas fuentes no locales (Steinitz *et al.,* 2012), esta es una estrategia también común en México. El análisis de componentes principales derivado de las frecuencias alélicas y el agrupamiento obtenido de las distancias genéticas indican no sólo una disgregación entre sitios manejados y de regeneración natural, sino también una alta similitud entre la población de Capulálpam de Méndez (CM) y los sitios manejados, resultado del método de reforestación basado en árboles padres utilizado en el manejo forestal de la comunidad (UZACHI, 2003).

La presencia de alelos únicos pueden representar para la especie un reservorio de diversidad genética en términos de adaptación local y un amortiguador a futuro contra enfermedades y parásitos (Rajora *et al.*, 2000; Yanchuk *et al.,* 2008) o calentamiento global (Dvorak, 2012). El número de alelos únicos observado en las poblaciones con regeneración natural, no difiere del encontrado por Dvorak *et al.* (2009), sin embargo en poblaciones manejadas, el número de alelos es menor de la mitad. Dvorak (2012) indica que, ante el incremento de enfermedades en plantaciones forestales, es sumamente importante revalorar la importancia de la captura de alelos únicos. Las características de historia de vida de *P. patula*, tales como una vida larga, polinización por viento y alta tasas de entrecruzamiento (Ledig, 1998), aunado a la considerable abundancia de individuos en Sierra Juárez (Castellanos-Bolaños *et al.,* 2008) pueden ser un factor amortiguador en la pérdida alélica (Lee *et al.,* 2002; Glaubitz *et al.*, 2003). Sin embargo, una inadecuada selección de árboles padre y un bajo número efectivo de individuos pueden afectar las frecuencia alélicas estables con el tiempo (Glaubitz *et al.*, 2003), aspecto que debe considerarse a futuro en los programas de mejoramiento genético de Capulálpam de Méndez, con la finalidad de evitar pérdidas económicas, por no tener un control adecuado de alelos únicos como sugiere Dvorak (2012).

Por otro lado, se encontró en sitios de manejo forestal, de regeneración natural y en conjunto una significativa deficiencia de heterocigotos, que coincide con lo encontrado para *P. patula* por Dvorak *et al.* (2009). Esta deficiencia puede deberse a: *(1)* una alta frecuencia de alelos nulos que pueden subestimar esta variable como se menciona para *P. strobus* (Marquardt y Epperson, 2004), lo cual no es el caso en este estudio, dada la baja frecuencia obtenida de alelos nulos; *(2)* A endogamia, producto del sistema de reproducción auto-compatible que presenta la especie, que permite la auto-cruza, aspecto común en el género (Williams y Savolainen, 1996; Renteria-Alcantará, 2002); o *(3)* con una dispersión espacial de semilla limitada a corta distancia que con el tiempo puede inducir a grupos familiares y polinización entre parientes (Farjon y Styles, 1997; Ledig, 1998). Una explicación alternativa de la deficiencia de heterocigotos en sitios manejados y de regeneración natural es que los individuos analizados pro-



ceden de pocos árboles progenitores, lo que implicaría un efecto del manejo forestal pasado y presente, un aspecto prioritario a considerarse en futuras plantaciones, como se ha recomendado para otras especies forestales (Glaubitz *et al.*, 2003; Degen *et al.*, 2006; Steinitz *et al.*, 2012).

Todos los microsatélites utilizados en este estudio han sido clasificados como polimórficos para especies de pinos duros y pinos blandos (Rentería-Alcántara, 2002). Sin embargo, sólo tres amplificaron y resultaron polimórficos para analizar la diversidad genética de *P. patula*. Resultados similares se han encontrado en otros estudios con *Pinus*, en donde solo una pequeña fracción de los microsatélites utilizados tienen éxito (*i,e*, Elsik *et al.*, 2000; Devey *et al.*, 2002). A pesar de que el número de *loci* analizados, se encuentran por debajo del rango de otros estudios con pinos, que van de cuatro (Núñez-Medrano, 2010) a más de ocho *loci* (Thomas *et al.*, 1999; Marquardt y Epperson, 2004; Dvorak *et al.*, 2009; Steinitz *et al.*, 2012), el número de alelos observados, alelos únicos y heterocigosis esperada es comparable o superior a estos estudios. Esto sugiere que los resultados obtenidos están bien representados y no existe una subestimación de la diversidad genética. El incrementar el número de *loci* en estudios futuros, implicaría una inversión económica mayor, factor crucial en la investigación actual y una limitante en universidades públicas. Además que un mayor número de *loci*, no garantiza, una diversidad genética diferente a la obtenida en este estudio (Hale *et al.*, 2012).

Por otra parte, el tamaño de muestra representa también una limitante económica y, aun cuando existe un conceso en utilizar un gran número de individuos (>50) (Yan y Zhang, 2004) para estabilizar las frecuencias alélicas y las estimaciones de H_e, este estudio solo utilizó 18 individuos por sitio. Este tamaño de muestra, es superior al promedio de 10 individuos utilizado en diversos estudios empleando microsatélites para especies de pinos manejados (*i.e.* Williams *et al.*, 2000; Dvorak *et al.*, 2009; Steinitz *et al.*, 2012). En este contexto, Hale *et al.* (2012) sugieren, con base en análisis de rarefacción, que un mínimo de 15 individuos permite detectar niveles de diversidad genética similar a la obtenida con un tamaño de muestra mayor (> 30). Este estudio, utilizó un número de muestras por arriba del mínimo por lo que se puede concluir que los resultados son confiables. No obstante, que los resultados obtenidos son un parte-aguas, para analizar los efectos del manejo forestal en México, con mayores recursos a futuro, se puede incrementar el número de *loci* y el tamaño muestras, para evaluar posibles cambios en la estabilidad de la diversidad genética.

De igual manera, la diferenciación genética total de *P. patula* (F_{st} = 0,056; R_{st} = 0,055) es similar al valor encontrado en otras especies de *Pinus* utilizando marcadores codominantes (Bucci *et al.*, 1998; Marquardt y Epperson, 2004; Karhu *et al.*, 2006; Dvorak *et al.*, 2009). Estos valores sugieren que *P. patula* presenta flujo génico moderado entre poblaciones. El valor de flujo génico encontrado puede ser producto del sistema de dispersión de polen a grandes distancias, lo que permite colonizar nuevas regiones (Ledig, 1998). La agrupación encontrada en los sitios manejados sugiere que la semilla se colectó de pocos individuos procedentes de una o pocas localidades de Capulálpam (Fig. 1). No obstante esto, el sistema reproductivo, ecológico y genético de la especie, en conjunto con cercanía de los sitios ha impedido una diferenciación genética entre las poblaciones (Hedrick, 2011) y puede permitir a futuro ser un amortiguador que permita una recolonización eficiente e incorpore diversidad genética a las poblaciones (Steinitz *et al.*, 2012).

Conclusiones

La gran diversidad genética de *Pinus patula*, junto con su amplia distribución y abundancia representan una ventaja potencial para su evolución a largo plazo frente al manejo forestal. La evidencia indica que el impacto de actividades forestales de la empresa FAPATUX y el manejo actual no han afectado la heterocigosis esperada de la especie. Sin embargo, se observa una pérdida alélica, debido a una inadecuada selección de árboles padre y a un bajo número efectivo de individuos, aspecto que debe considerarse en futuros planes de manejo forestal de la comunidad. Los resultados obtenidos indican que no existe una subestimación de la diversidad genética, a

pesar de solo utilizar tres *loci* y un tamaño de muestra de 18 individuos. Se recomienda considerar en los planes de manejo de la región la procedencia de semillas y el número de individuos involucrados en los programas de reforestación para garantizar el mantenimiento de la diversidad genética de la especie y con ello evitar pérdidas económicas en el futuro.

Referencias

Antinori, C. 2007. Integración vertical en las empresas forestales comunitarias de Oaxaca. *In*: L. Bray, D. Merino y D. Berry, eds. Los bosques comunitarios de México: manejo sustentable de paisajes forestales. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. p: 303-342.

Bucci, G., M. Anzidei, A. Madaghiele y G.G. Vendramin. 1998. Detection of haplotypic variation and natural hybridization in halepensis-complex pine species using chloroplast simple sequence repeat (SSR) markers. *Molecular Ecology* 7(12):1633-1643.

Chapela, M.F. 1999. Silvicultura comunitaria en la Sierra Norte de Oaxaca. El caso de la Unión Zapoteco-Chinanteca. Estudio del caso sobre la participación campesina en generación, validación y transferencia de tecnología. Red de Gestión de Recursos Naturales. 1a ed. Fundación Rockefeller. México, D.F. 110 p.

Castellanos-Bolaños, J.F., E.J.T. Garza, Ó.A.A. Calderón, J.J. Pérez, M. Musalem-Santiago y R. López-Aguillón. 2008. Estructura de bosque de *Pinus pátula* bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 14(2):51-63.

Crow, J.F. y K. Aoki. 1984. Group selection for a polygenic behavioural trait: estimating the degree of population subdivision. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 81(19):6073-6077.

Degen, B., L. Blanc, H. Caron, L. Maggia, A. Kremer y S. Gourlet-Fleury. 2006. Impact of selective logging on genetic composition and demographic structure of four tropical tree species. *Biological Conservation* 131(3):386-401.

Devey, M.E., J.C. Bell, T.L. Uren y G.F. Moran. 2002. A set of microsatellite markers for fingerprinting and breeding applications in *Pinus radiata*. *Genome* 45(5):984-989.

Dostálek. J., T. Frantík y M. Lukásová. 2011. Genetic differences within natural and planted stands of *Quercus petraea*. *Central European Journal of Biology* 6(4):597-605.

du Cros, E.T. 2004. Management and conservation of forest genetic resources: Roles of IUFRO a France on the international scene and need for long-term monitoring of genetic diversity in conservation networks. *In*: J. Beaulieu, ed. Silviculture and the conservation of genetic resources for sustainable forest management. Proceedings of the Symposium of the North American Forest Commission. Forest Genetic Resources and Siviculture Working Groups, and the International Union of Forest Research Organizations (IUFRO). Quebec, Canadá. p:3-8.

Dvorak, W.S., K.M. Potter, V.D. Hipkins y G.R. Hodge. 2009. Genetic diversity and gene exchange in *Pinus oocarpa*, a Mesoamerican pine with resistance to Pitch canker fungus (*Fusarium circinatum*). *International Journal of Plant Sciences* 170(5):609-626.

Dvorak, W.S. 2012. The strategic importance of applied tree conservation programs to the forest industry in South Africa. *Southern Forests*: *a Journal of Forest Science* 74(1):1-6.

Elsik, C.G., V.T. Minihan, S.E. Hall y C.G. Williams. 2000. Low-copy microsatélite markers for *Pinus tadea* L. *Genome* 43(3):550-553.

Excoffier, L. y H. Lischer. 2010. Software Arlequín 3.5.1.2. an integrated software package for population genetics data analysis. Institute of Ecology and Evolution & Swiss Institute of Bioinformatics. University of Berne. Suiza.

Farjon, A. y B.T. Styles. 1997. Flora neotropica: *Pinus* (Pinaceae). 1a ed. New York Botanical Garden. Nueva York. 191 p.

Fuente-Carrasco, M. y D. Barkin. 2011. Concesiones forestales, exclusión y sustentabilidad. Lecciones desde las comunidades de la Sierra Norte de Oaxaca. *Desacatos* 37:93-110.

Glaubitz, J.C., H.X. Wu y G.F. Moran. 2003. Impacts of silviculture on genetic diversity in the native forest species *Eucalyptus sieberi*. *Conservation Genetics* 4(3):275-287.

Gómez-Mendoza, L., E.I.M. Vega-Peña, J. Ramírez, L. Palacio-Prieto y L. Galicia. 2006. Projecting land use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca. México. 1a ed. UNAM-INE-Semarnat. México. 278 p.



Hale, M.L., T.M. Burg y T.E. Steeves. 2012. Sampling for microsatellite-based population genetic studies: 25 to 30 individuals per population is enough to accurately estimate allele frequencies. PLoS ONE 7(9): e45170. doi:10.1371/journal.pone.0045170

Hedrick, P.W. 2011. Genetics of populations. 4ª ed. Jones and Bartlett Publisher. Massachusetts, EUA. 674 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática). 1998. Anuario Estadístico del Estado de Oaxaca. Gobierno del Estado de Oaxaca.

Karhu, A., C. Vogl, G.F. Moran, J.C. Bell y O. Savolainen. 2006. Analysis of microsatellite variation in *Pinus radiata* reveals effects of genetic drift but no recent bottlenecks. *Journal of Evolutionary Biology* 19(1):167-175.

Kimura, M. y J.F. Crow. 1964. The number of alleles that can be maintained in a finite population. *Genetics* 49(4):725-738.

Kramer, A.T., J.L. Ison, M.V. Ashley y H.F. Howe. 2008. The paradox of forest fragmentation genetics. *Conservation Biology* 22(4):878–885.

Ledig, T. 1998. Genetic variation in *Pinus*. *In*: D.M Richardson, ed. Ecology and biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. EUA. p:251-260.

Lee, C.T., R. Wickneswari, M.C. Mahani y A.H. Zakri. 2002. Effect of selective logging on the genetic diversity of *Scaphium macropodum*. *Biological Conservation* 104(1):107-118.

Loo, J.A. 2011. Manual de genética de la conservación. Semarnat y Conafor. México, D.F.

Luna-Rodríguez, M., J. López-Upton y L.G. Iglesias-Andreu. 2005. Morphometric and molecular (RAPD) variability in a plantation of *Pinus patula* in Veracruz, México. *Agrociencia* 39(2):231-235.

Marquardt, P.E. y B.K. Epperson. 2004. Spatial and population genetic structure of microsatellites white pine. *Molecular Ecology* 13(11):3305-3315.

Merino-Pérez, L. 2004. Conservación o Deterioro: El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en las prácticas de uso de los recursos forestales. 1ª ed. Instituto Nacional de Ecología. México. 321 p.

Miller, M.P. 2000. Tools for population's genetic analyses (TFPGA) 1.3: A window program for the analyses of allozyme and molecular population genetic data computer software distributed by author.

Nei, M. 1978. Estimation of average heterozygosis and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89(3):583-590.

Núñez-Medrano, J. 2010. Implementación de marcadores moleculares (Microsatélites nucleares, SSRn), para la evaluación genética de áreas semilleras en especies del género *Pinus*. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 65 p.

Palmberg-Lerche, C. 2002. Algunas reflexiones sobre la conservación genética en el sector forestal. *Unasylva* 53(209):57-61.

Perry, P.J. 1991. The pines of México and Central America. 1a ed. Timber Press. Oregon, EUA. 231 p.

PMD (Plan de Desarrollo Municipal). 2009. Consejo municipal de desarrollo rural sustentable. Gobierno del Estado deoaxaca/SAGARPA. Capulálpam de Méndez. México.

Rajora, O.P., M.H. Rahman, G.P. Buchert y B.P. Dancik. 2000. Microsatellite DNA analysis of genetic effects of harvesting in old-growth eastern white pine (*Pinus strobus*) in Ontario, Canada. *Molecular Ecology* 9(3):339-348.

Rajora, O.P. y S.A. Pluhar. 2003. Genetic diversity impacts of forest fires, forest harvesting, and alternative reforestation practices in black spruce (*Picea mariana*). *Theorical Applied Genetic* 106(7):1203-1212.

Rentería-Alcántara, M. 2002. Variación y estructura genética de una especie rara en México (*Pinus nelsonii* SHAW). Informe Final de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 57 p.

Rentería-Alcántara, M. 2007. Breve revisión de los marcadores moleculares. *In*: L.E. Eguiarte, V Sousa y X. Aguirre, eds. Ecología molecular. Semarnat-INE-UNAM-Conabio. México. p.541-566.

Sánchez-García, G. 2011. Efecto del manejo forestal en la estructura y variación genética de *Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham*. en la Sierra de Juárez, Oaxaca. Tesis de licenciatura. UNSIJ. Oaxaca. 89 p.

Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14(1):107-120.

Schaal, B.A., W.J. Leverich y S.H. Rogstad. 1991. A comparison of methods for assessing genetic variation in plant conservation of rare plants. *In*: D.A. Falks y K.E. Holsinger, eds. Genetics and conservation of rare plants. Oxford. Nueva York. p:123-134.

Slatkin, M. 1995. A measure of population subdivision based on microsatellite allele frequency. *Genetics* 139(1):457-462.

Smartwood. 2006. Resumen público de la certificación de manejo forestal de la Unión de Productores Forestales Zapotecas-Chinantecas de la Sierra de Juárez de R.I. (UZACHI) Certificado: SW-FM/COC-011 auditorías anuales 2004, 2005 y 2006. Certificador Smart Wood Program. Richmond. EUA. 48 p.

Stat Soft. Inc.. 2004. STATISTICA (Data Analysis Software System). versión 7. www.statoft.com.

Steinitz, O., J.J. Robledo-Arnuncio y R. Nathan. 2012. Effects of forest plantations on the genetic composition of conspecific native Aleppo pine populations. *Molecular Ecology* 21(2):300-313.

Thomas, B.R., S.E. McDonald, M. Hicks, D.L. Adams y R.B. Hodgetts. 1999. Effects of reforestation methods on genetic diversity of lodge pole pine an assessment using microsatellite and randomly amplified polymorphic DNA markers. *Theorical and Applied Genetics* 98(5):793-801.

UZACHI (Unión de comunidades productoras forestales Zapotecas – Chinantecas). 2003. Programa de manejo forestal persistente para el aprovechamiento maderable de la comunidad de Capulálpam de Méndez, Ixtlán, Oaxaca. 96 p.

Van Oosterhout, C., W.F. Hutchinson, D.P.M. Wills y P.Shipley. 2004. Micro-checker: software for identifying and correcting genotyping error in microsatellite data. *Molecular Ecology Notes* 4(3):535-538.

Velázquez, M.A., G. Ángeles-Pérez, O.T. Llanderal, J.A. Román y H.V. Reyes. 2004. Monografía de *Pinus patula*. 1ª ed. Conafor-Semarnat-Colpos. México. 124 p.

Yanchuk, A.D., J.C. Murphy y K.F. Wallin. 2008. Evaluation of genetic variation of attack and resistance in lodgepole pine in the early stages of a mountain pine beetle outbreak. *Tree Genetic and Genomes* 4(2):171-180.

Yan, L.N. y D.X. Zhang. 2004. Effects of sample size on various genetic diversity measures in population genetic study with microsatellite DNA markers. *Acta Zoologica Sinica* 50(2):279-290. doi: 10.1111/j.1755-0998.2011.

White, G.M., D.H Boshier y W. Powell. 2002. Increased pollen flow counteracts fragmentation in a tropical dry forest: an example from *Swietenia humilis* Zuccarini. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 99(4):2038-2042.

Williams, C.G. y O. Savolainen. 1996. Inbreeding depression in conifers: implications for breeding strategy. *Forest Science* 42(1):102-117.

Williams, C.G., C.G. Elsik y R.D. Barnes. 2000. Microsatellite analysis of *Pinus taeda* L. in Zimbabwe. *Heredity* 84(2):261-268.

Wright, S. 1951. The genetical structure of populations. *Annals of Eugenics* 15(4):323-354.

Zar, J.E. 1984. Biostatistical analysis. 2ª ed. Prentice Hall. Nueva Jersey. EUA. 687 p.

Manuscrito recibido el 28 de febrero de 2013.
Aceptado el 25 de marzo de 2014.

Este documento se debe citar como:
Alfonso-Corrado, C., J. Campos-Contreras, G. Sánchez-García, A. Monsalvo-Reyes y R. Clark-Tapia. 2014. Manejo forestal y diversidad genética de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl, & Cham, en Sierra Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques* 20(2):11-22.

Madera y **Bosques** vol. **20**, núm. **2 : 23-31** Verano **2014**



Caracterización silvícola de *Pseudotsuga menziesii* en la reserva de la biosfera "La Michilía"

Silvicultural characterization of *Pseudotsuga menziesii* in the "La Michilía" biosphere reserve

Pedro A. Domínguez-Calleros[1]*, Gustavo A. Chávez-Flores[2], Efraín Rodríguez-Téllez[1], José Javier Corral-Rivas[1], José R. Goche-Telles[1] y Manuel A. Díaz-Vásquez[1]

1 Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, México

2 Egresado de la Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, México

* Autor para correspondencia: pdomingc@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue documentar las características dasométricas, así como las condiciones ecológicas en las que se desarrollan dos poblaciones de *Pseudotsuga menziesii,* ubicadas en el área de influencia de la Reserva de la Biosfera La Michilía y el Área de Protección de Recursos Naturales de la Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 043. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que en el sitio 1 solo 3% de la población corresponde a *Pseudotsuga menziesii,* mientras que en el sitio 2, 35% corresponde a esta especie. Al igual que en el estrato superior, el sitio 2 tuvo la mayor presencia de regeneración con 896 individuos por hectárea (n/ha). Los valores del índice de uniformidad (*Wi)* indican una distribución aleatoria en el sitio 1 y agrupada el sitio 2. Respecto al grado de mezcla de especies (*Mi*), los resultados indican que ambas poblaciones presentan una alta diversidad y mezcla de especies. De acuerdo con los datos analizados de la estación climatológica más cercana, se determinó que esta zona corresponde a un clima del tipo Cw (templado subhúmedo) apto para el desarrollo de esta especie. Respecto al estudio realizado sobre los conos y semillas, es importante mencionar el bajo nivel de producción registrada, con 291,9 semillas/kg para el sitio 1 y 315,3 semillas/kg para el sitio 2; asimismo las semillas colectadas en ambos sitios presentaron porcentajes de viabilidad muy bajos.

PALABRAS CLAVE: *c*aracterísticas dasométricas, estructura espacial y mezcla de especies, conos y semillas, *Pseudotsuga mensiezii*.

ABSTRACT

The aim of this study was to document the dasometric characteristics as well as the ecological conditions that develop in the two populations of *Pseudotsuga menziesii*, located in the area of influence of the "La Michilía" Biosphere Reserve and the Protection Area and Natural Resources of the Feeder Basin National Irrigation District 043. The results obtained in this study show that at site 1 only 3% of the population corresponds to *Pseudotsuga menziesii*, whereas at site 2, 35% corresponds to this species. As in the upper layer, the site 2 had the highest regeneration presence of 896 n/ha. The uniformity index values (*Wi*) indicate a random distribution at site 1 and site 2 pooled together. Regarding the degree of species mixing (*Mi*), the results indicate that both populations have a high diversity and species mix. As for the environmental conditions, according to the data analyzed from the nearest weather station it was determined that this area corresponds to a climate type *Cw* (temperate sub-humid) suitable for the development of this species. Regarding the study of cones and seeds, it is important to note the low level of production recorded with 291,9 seeds/kg for site 1 and for site 2, 315,3; additionally, the collected seeds presented a low viability level.

KEY WORDS: dasometric characteristics, spatial structure and species mix, cones and seeds, *Pseudotsuga menziesii*.

Introducción

Pseudotsuga menziesii es una especie endémica del continente americano, se extiende desde la Columbia Británica en Canadá hasta las montañas del sur de México (Domínguez-Álvarez, 1994). Esta especie aunque abundante e importante económicamente en Estados Unidos y Canadá, en México es escasa y se ha incluido en la NOM-059-SEMARNAT-2010, bajo la categoría de protección especial, lo que prohíbe su aprovechamiento (Ventura *et al.*, 2010). *Pseudotsuga menziesii* crece de forma natural principalmente en la porción norte de la Sierra Madre Occidental, en los estados de Chihuahua, Durango, Sonora y Zacatecas y en la parte norte de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas. Además de pequeños rodales en la parte oriente del Eje Neovolcánico, en el centro del país (Domínguez-Álvarez *et al.*, 2004).

En el estado de Durango, se encuentran poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en áreas de los municipios de Santiago Papasquiaro, Tepehuanes, Guanaceví, norte de Tamazula, San Dimas, Pueblo Nuevo, Topia, Durango y El Mezquital. La biodiversidad de la Reserva de la Biosfera La Michilía (RBM) ha sido bien documentada sobre todo en relación con la vegetación, florística y la estructura de las especies vegetales de la zona (González *et al.*, 1993; *Rentería-Arrieta y García-Arévalo, 1997;* González *et al.*, 2007), también se menciona la presencia de un pequeño manchón de *Pseudotsuga menziesii* que se localiza en la Sierra de Urica, dentro del área de influencia de la RBM (DRBLM, 2004).

Objetivos

Mostrar el estado silvícola, tanto en el estrato superior como en nivel inferior de la regeneración de *Pseudotsuga menziesii*, así como los factores que favorecen o impiden el establecimiento de esta especie en dos poblaciones, una dentro del área de influencia de la Reserva de la Biosfera La Michilía y la segunda en el Área de Protección de los Recursos Naturales de la Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego (CADNR) 043.

Materiales y métodos

Área de estudio

Este trabajo se realizó en un área que comprende la distribución natural del bosque de *Pseudotsuga menziesii*, el sitio 1 se ubica en el ejido San Juan de Michis, municipio de Súchil, Durango y el sitio 2 en el predio particular "Los Castillo" en el municipio de Chalchihuites, Zacatecas, el primer sitio se encuentra dentro del área de influencia de la Reserva de la Biosfera la Michilia y el segundo en el área de protección de recursos naturales de la Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 043. Las coordenadas UTM son, respectivamente: 593025 m E, 2586731 m N y 596516 m E, 2589655 m N, (Fig.1).

En esta zona prevalece un clima tipo C (Wo) (W) a (e), la temperatura anual promedio es de 14,1 °C y la precipitación es de 726 mm.

Descripción dasométrica de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii*

Para cumplir este objetivo, se realizaron recorridos en el área señalada para ubicar dos poblaciones de *Pseudotsuga menziesii,* la distancia de separación entre las poblaciones fue de 5 km.

El estudio dasométrico del estrato superior se realizó empleando la metodología de la UJED (2009), aunque no todos los datos registrados fueron analizados en este trabajo, sí resultan de interés, para la evaluación de los índices de uniformidad (*Wi*) y de mezcla de especies de Gadow (*Mi*), los siguientes: género y especie, diámetro, altura, distancia (del árbol al centro del sitio de muestreo) y azimut. El tamaño de los sitios usado fue de 50 m x 50 m (0,25 ha) y se aplicó un sistema de muestreo sistemático.

Regeneración de *Pseudotsuga menziesii*

Para evaluar la condición de la regeneración, se realizó un censo, tomando en cuenta solo *Pseudotsuga menziesii*, considerando como regeneración aquellos individuos que estuvieran dentro de tres clases de altura, la clase 1 con una dimensión de 0,25 m a 1,50 m, la clase 2 de 1,51 m a 2,75 m. y la 3 mayor que 2,75 m., los datos para determinar la estruc-



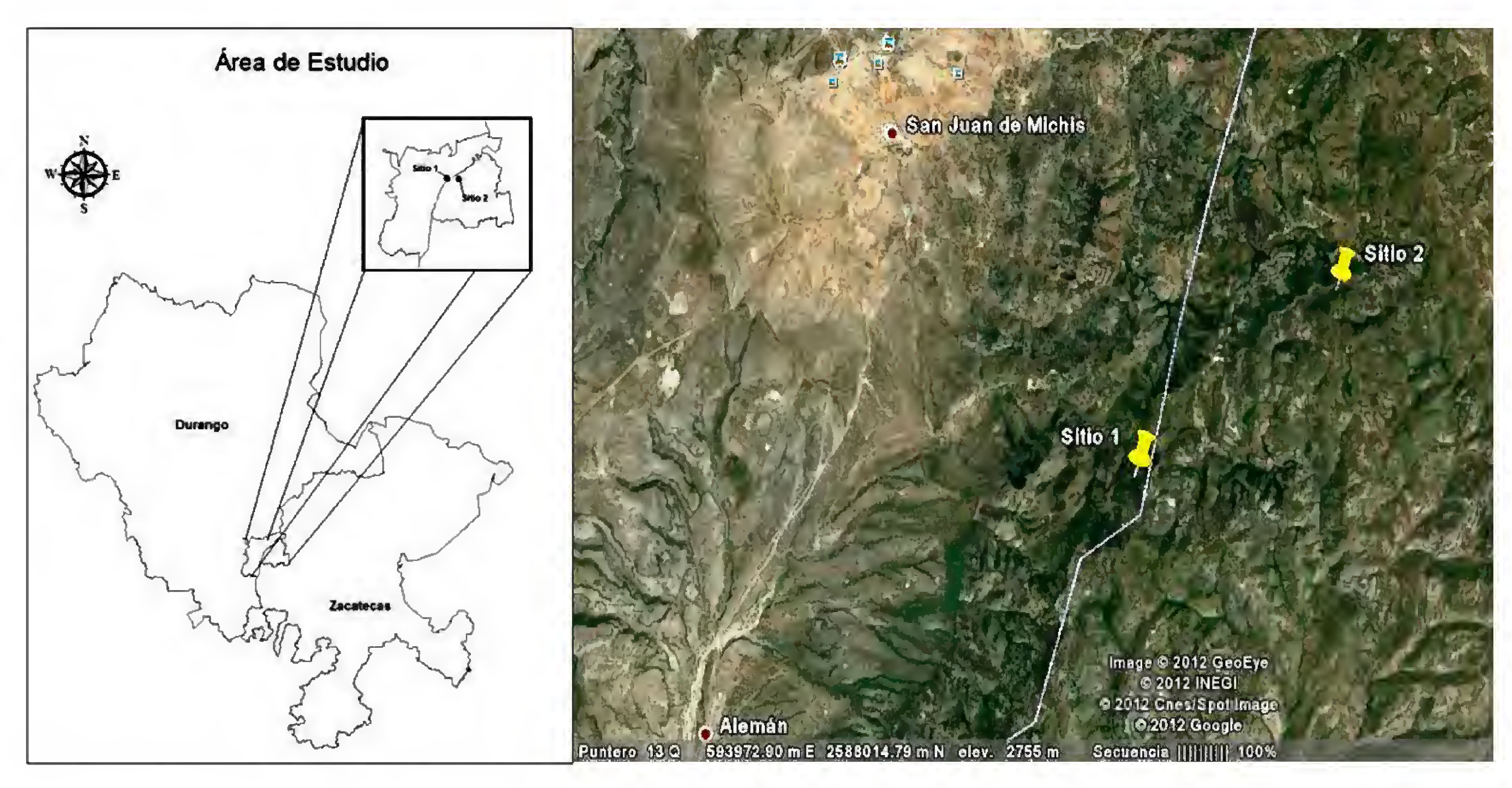


FIGURA. 1. Localización de los sitios de estudio.

tura de la regeneración fueron: diámetro, altura, distancia, azimut y edad (determinada por conteo de verticilos).

Factores ambientales

Los datos del clima se tomaron de la estación climatológica más cercana a los sitios de muestreo, esta se encuentra en la comunidad "El Alemán" del municipio de Súchil, Durango; dicha estación cuenta con los registros climatológicos del año 1993 a 2011. Los datos considerados para este estudio fueron la precipitación promedio, así como la temperatura máxima, mínima y media del período señalado. Con estos registros se elaboró un climograma (Diagrama ombrotérmico) para representar las características climáticas de la zona durante este período.

Análisis de la semilla

Pseudotsuga. menziesii se encuentra registrada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, lo cual prohíbe su aprovechamiento y para la colecta de germoplasma se requiere de un permiso especial, el cual no fue posible tramitar. Lo anterior obligó a seleccionar solo un individuo por sitio; sin embargo, se eligieron los mejores árboles de los cuales se colectaron 25 conos por individuo. De los conos recolectados se registró su tamaño, peso y cantidad de semillas, esto con el fin de conocer la variación entre los árboles seleccionados.

La determinación de la calidad de la semilla se realizó mediante el análisis de la viabilidad siguiendo la metodología usada por el Banco de Germoplasma de la Comisión Nacional Forestal (Conafor). Una vez ubicadas en la radiografía las semillas que tuviesen el embrión desarrollado, se procedió a realizar una prueba con la prueba de Tetrazolio (Moreno *et al*., 2001) para ratificar la viabilidad de la semilla

Evaluación del suelo en las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii*

Se tomaron muestras de suelo en cuatro puntos localizados en el sitio, siguiendo la metodología de la UJED (2009).

Las variables registradas fueron: profundidad efectiva, color, textura, materia orgánica, erosión actual y susceptibilidad a la erosión. Las muestras de suelo se colectaron a 30 cm de profundidad y fueron depositadas en bolsas de plástico para ser enviadas al laboratorio para determinar las características de pH, textura, y macro y micro nutrientes (C, N, P, K, Mg, Ca, relación C/N, Fe, Mn, Zn, Cu, Cl, B, Mo).

Análisis de la información

Los datos obtenidos fueron capturados en una base de datos y analizados por medio de estadísticas descriptivas utilizando el software Excel12.0 (Office 2007 ©), para la elaboración de los cuadros y gráficas se empleó el mismo software. La evaluación dasométrica y estructural de las poblaciones se realizó utilizando los índices de uniformidad de Gadow (*Wi*) y el índice de mezcla de especies de Gadow (*Mi*), mediante el paquete estadístico SAS/ETSâ (SAS Institute Inc., 2008)

Resultados y discusión

Como se observa en la tabla 1, las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* se asocian principalmente con encinos, específicamente con *Quercus*, *sideroxyla* y *Q. eduardii*. También en esa tabla se muestran las características dasométricas de los árboles. En total se registraron 1012 n/ha para el sitio 1 y 924 n/ha para el sitio 2, estos se agruparon en 10 y 8 especies respectivamente. En el sitio 1, *Pseudotsuga menziesii* representó apenas 3% con 28 árboles por hectárea, *Quercus eduardi* fue la especie más repre-

Tabla 1. Características dasométricas de los sitios 1 y 2 en el área de estudio.

Sitio	*Especie*	*Número de árboles (n/ha)*	*Porcentaje (%)*	*Área basal (G/ha)*	*Porcentaje (%)*	*Diámetro (cm)*	*Altura (m)*
1	*Arbutus xalapensis*	140	14	3,22	9	16,09	7,77
	Cupressus lusitánica	4	0	0,08	0	16,0	7,40
	P. ayacahuite	12	1	0,40	1	20,0	13,53
	P. cooperi	96	9	8,62	25	32,4	17,55
	P. durangensis	84	8	4,71	14	24,87	14,66
	P. engelmanii	8	1	0,26	1	20,1	15,45
	P. menziesii	28	3	1,80	5	27,67	16,54
	Q. eduardii	316	31	8,27	24	16,98	8,54
	Q. rugosa	116	11	2,94	9	16,83	8,51
	Q. sideroxyla	208	21	4,14	12	15,11	7,02
	TOTAL	1012	100	34,43	100	20,60*	11,69*
2	*Arbutus xalapensis*	76	8	1,66	6	15,51	6,64
	Cupressus lusitánica	56	6	1,87	6	18,4	7,59
	P. cooperi	32	3	1,23	4	20,43	10,58
	P. durangensis	8	1	0,07	0	10,45	6,65
	P. menziesii	324	35	9,06	31	14,49	10,33
	Q. eduardii	100	11	3,95	14	19,96	9,46
	Q. hartwegi	16	2	0,26	1	14,23	9,18
	Q. sideroxyla	312	34	11,03	38	18,97	8,22
	TOTAL	924	100	29,12	100	16,55*	8,58*



sentativa con 31% del total registrado. En el sitio 2 *Pseudotsuga menziesii* fue la especie más abundante con 324 n/ha, lo que equivale a 35%.

Respecto al área basal, ésta fue mayor en el sitio 1 que en el 2; en el primero, *Pinus cooperi* fue la especie de mayor valor (8,61 m²/ha), lo que representa 25% del total del sitio, donde *Pseudotsuga menziesii* solo ocupó 5%. En cambio, en el sitio 2, esta especie tuvo el mayor valor con 9,25 m²/ha, lo que equivale a 31%.

De igual forma en la tabla 1 se mencionan los diámetros de los árboles a una altura de 1,30 m (D.A.P); el valor promedio de esta variable fue mayor en el sitio 1 que en el sitio 2. En el primer sitio, *Pinus cooperi* y *Pseudotsuga menziesii* fueron las especies de mayores diámetros, mientras que los encinos fueron los árboles más delgados. En el sitio 2 *Pinus cooperi* presentó el mayor diámetro seguido de *Q. eduardii y Pseudotsuga menziesii*. Respecto a la altura, *Pinus cooperi y Pseudotsuga menziesii* ocuparon el estrato superior en los dos sitios, siendo los árboles de mayor longitud.

Al comparar los resultados del presente trabajo con los del estudio realizado por Domínguez Álvarez *et al.* (2004) en poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en el norte y centro del país, se observa que los valores encontrados en el primero son muy bajos, ya que en el segundo se registran 760 n/ha y un área basal de 83,83 m²/ha. Müller-Using y Wachtel (1986), en su estudio realizado sobre la estructura arbórea en un bosque de alta montaña en Nuevo León, México, indican también un bajo número de árboles con 53 n/ha y un área basal de tan solo 1,1 m²/ha, resultados muy similares a los registrados en el sitio 1 del presente estudio. Por otra parte, estos autores señalan que *Pseudotsuga menziesii* se desarrolla en forma aislada y fragmentada asociándose principalmente con *Arbutus xalapensis*, *Pinus ayacahuite* y *Quercus syderoxyla*.

La estructura espacial de los sitios se analizó utilizando los índices de uniformidad (*Wi*) y de mezcla de especies de Gadow (*Mi*).

El análisis de *Wi* mostró un valor promedio de 0,509 para el sitio 1 y de 0,532 para el sitio 2; valores que, de acuerdo con el trabajo de Corral-Rivas *et al.* (2005), indican una distribución aleatoria en el sitio 1 y agrupada el sitio 2. La distribución de los valores de *Wi* se muestra en la figura 2, observándose un mayor porcentaje de grupos estructurales de cinco árboles con valores de 0,75 y 1 en la parcela 2, el sitio 1 mostró un mayor número de sitios estructurales con valores de 0 y 0,25.

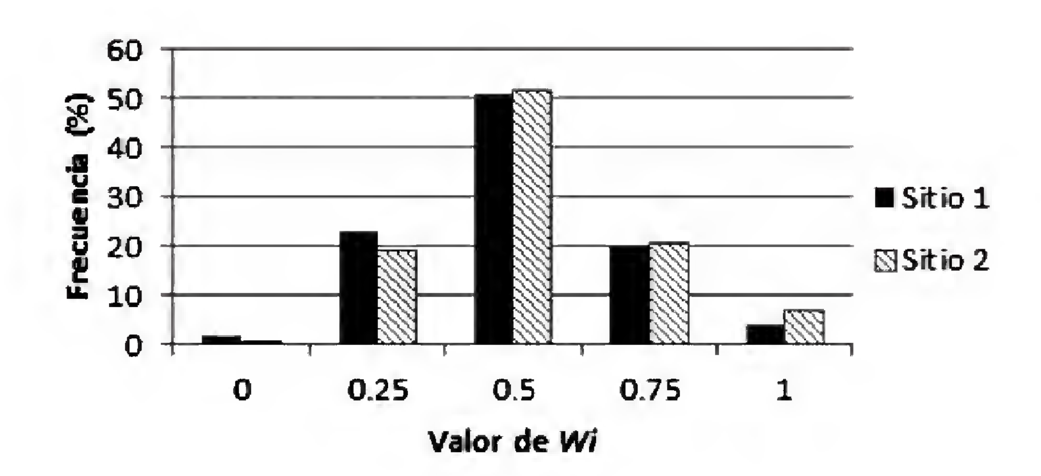


FIGURA 2. Distribución de frecuencias relativas de los valores del índice de uniformidad de Gadow.

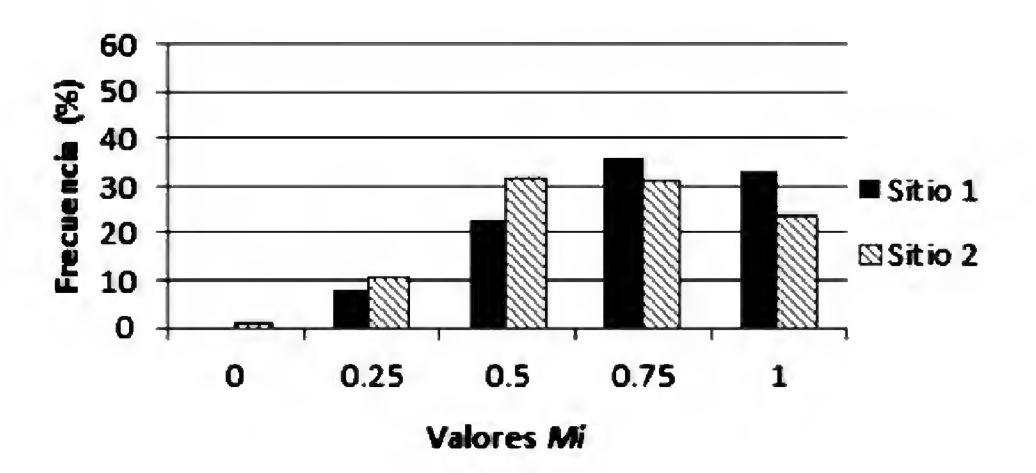


FIGURA 3. Distribución de frecuencias de los valores del índice de mezcla de especies de Gadow.

Respecto al grado de mezcla (*Mi*), se obtuvieron resultados con un valor medio de 0,732 y 0,665 para los sitios 1 y 2, respectivamente, lo que indica que ambas poblaciones presentan una relativa alta diversidad y mezcla de especies. En la figura 3 se observa la mezcla espacial de las especies de los árboles registradas dentro de los sitios. En el sitio 1, 63% de los grupos estructurales tuvieron valores de mezcla calificados como alta (0,75) y muy

alta (1,0), mientras que en el sitio 2 este porcentaje se reduce a 53%. Lo anterior explica la diferencia entre los valores medios en ambos componentes estructurales, distribución espacial del arbolado y diversidad y mezcla de especies del estrato superior (Corral-Rivas *et al.*, 2005).

En la figura 4 se presenta el climograma elaborado con datos registrados durante 18 años en la región y el registro de la precipitación y temperatura del año 2011 en la estación El Alemán, mpio. de Súchil, Dgo. durante 2011. En los datos, se observa que existe una corta temporada seca que ocurre durante los meses de marzo y abril y que el resto de los meses se consideran húmedos, esto coincide con las del período largo de observación. Lo anterior hace suponer que la escasez de regeneración natural de *Pseudotsuga menziesii* en los sitios estudiados obedece más a factores propios de la biología de la especie, que al clima de la región.

La longitud de los conos (Tabla 2) en los dos sitios estudiados se ubica dentro del intervalo señalado por García y González (2003), mientras que el ancho queda por debajo del intervalo señalado por los mismos autores. El peso promedio registrado de los conos fue mayor para el sitio 1, ubicado en el ejido "San Juan de Michis" y menor en la localidad "Los Castillo". En cuanto a la cantidad y peso de semilla contenida en los conos, el sitio 1 tuvo el menor número de semillas por kilogramo con 291 954 y el sitio 2 con 315 254 semillas por kilogramo.

En la figura 5 se muestran las semillas que se sometieron a Rayos X para conocer su viabilidad, las semillas en color blanco representan embriones vivos y/o la presencia de larvas de insectos. En ambos sitios se aprecia el bajo número de semillas viables (3 en el sitio 1 y 8 en el sitio 2), respecto a la presencia de larvas, estas se presentaron en ambos sitios (3 en el sitio 1 y 5 en el sitio 2). El número de semillas con el embrión mal formado fue igual (2) en ambos casos. Esta baja producción de semillas viables es típica para esta especie. Estos resultados son muy similares a los encontrados por Velasco *et al.* (2007), quienes señalan que

TABLA 2. Características de los conos y semilla por sitio.

Sitio	*Largo (mm)*	*Ancho (mm)*	*Peso (g)*	*Cantidad de Semilla*	*Peso de la semilla (g)*	*Semilla/kg*
1	50,26	20,27	59,95	254	0,87	291,95
2	44,87	18,08	45,78	186	0,59	315,25

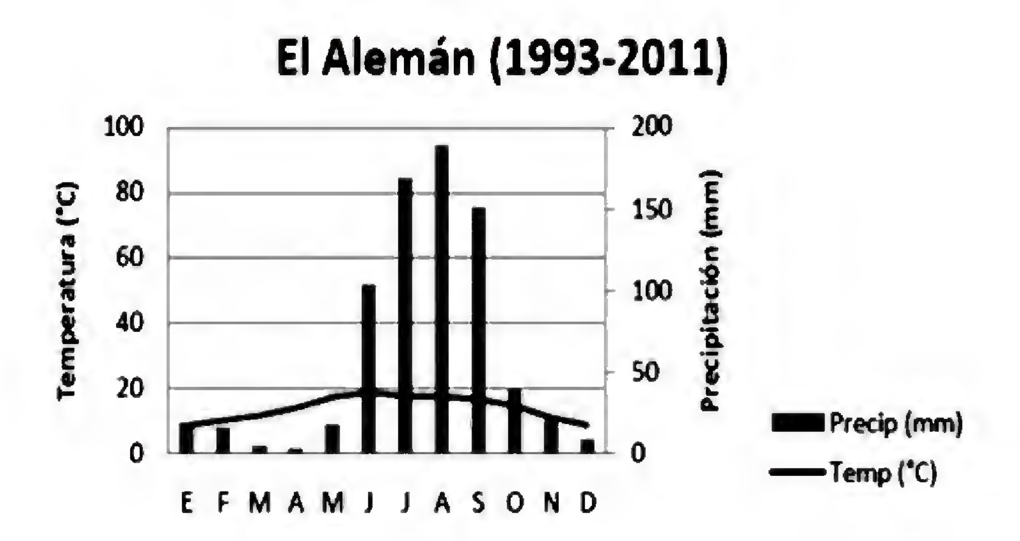


FIGURA. 4. Climograma del área de estudio con datos de precipitación y temperatura de la estación climatológica El Alemán registrados durante el año 2011.

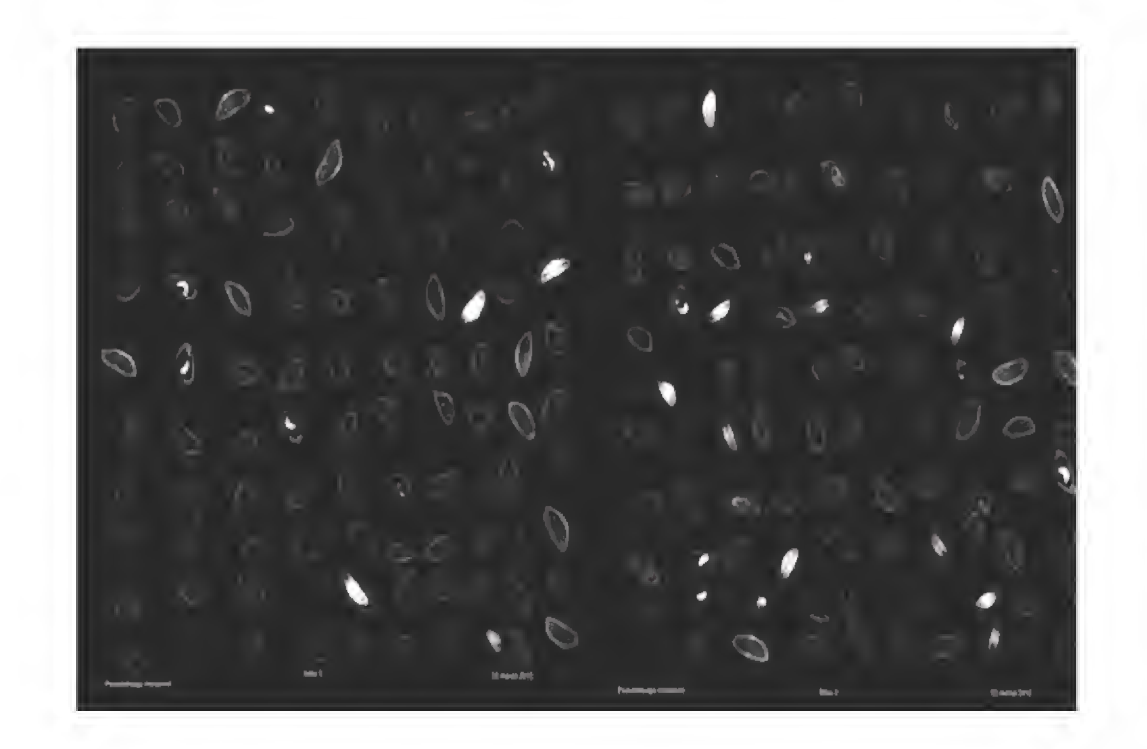


FIGURA 5. Radiografías de la semilla del sitio 1 y 2.



90,3% fueron semillas vanas, 5,8% resultaron dañadas por varios agentes (presencia de insectos) y solo 3,9% fueron semillas llenas. Una vez ubicadas las semillas con embrión desarrollado en las radiografías, se procedió a ratificar su viabilidad mediante la prueba de Tetrazolio (Tabla 3). En el sitio 1 todas las semillas con embrión desarrollado fueron teñidas, lo cual significa que son viables.

Tabla 3. Resultados de la prueba de Tetrazolio.

	Sitio 1	*Sitio 2*
Teñida de rojo totalmente	3	4
Teñida débilmente	-	1
Teñida al 75%	-	-
Radícula desteñida	-	1
Bandas desteñidas	-	-
Semilla sin teñir	-	2
TOTAL	3	8
% de viabilidad	100%	50%

En el caso de la semilla del sitio 2, solo 50% fueron teñidas, lo que significa que solo este porcentaje son semillas viables.

El estudio realizado sobre el suelo indica que la profundidad efectiva es de 30 cm a 60 cm, así como un color claro para ambos sitios; por otra parte, en las dos localidades no existen evidencias de erosión aparente y por consecuencia se visualiza para la zona una baja susceptibilidad a la erosión.

De los análisis de laboratorio realizados a las muestras, se pudo determinar que el tipo de suelo del sitio 1 corresponde al nombre textural "Migajón Fte/ Arenoso", mientras que el sitio 2 corresponde al denominado "Arcilla Fte/ Arenosa". En este mismo análisis se determinaron las variables de erosión, textura y fertilidad que se muestran en la tabla 4.

En el sitio 1 el pH es ligeramente acido, el porcentaje de materia orgánica para este sitio fue de 5,54%, lo que resulta suficiente, además presenta un nivel muy bajo de Fósforo (P) así como un exceso de Potasio (K). En el sitio 2 el pH es neutro, tiene un porcentaje de materia orgánica de 8,74%, lo que es medianamente alto, en este sitio los indicadores de fertilidad están dentro de lo normal. De acuerdo con el estudio realizado por Domínguez Álvarez *et al.* (2004) sobre poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* en el norte y centro del país, éstas se desarrollaron principalmente en suelos con una profundidad efectiva de 59 cm a 100 cm y un pH promedio de 6,6 sobre suelos franco-arcillo-arenosos, lo cual difiere poco con los resultados obtenidos en este estudio. Los resultados de este trabajo confirman los hallazgos de Gordon (1968) y Aguirre *et al.* (2003), quienes mencionan que las áreas forestales con presencia de especies como *Pseudotsuga menziesii*, *Cupressus lucitanica, Abies durangensis y Picea chihuahuana* corresponden a sitios húmedos y aislados que contienen una diversidad y mezcla de especies relativamente alta, con distribuciones del arbolado del tipo de agregados y aleatorias y de una alta diferenciación dimensional (estructuras horizontal y vertical). Por su parte Ledig *et al.* (2000), asocian la presencia de estas especies a rodales cercanos a

Tabla 4. Resultado análisis de laboratorio.

Sitio	*Erosión*		*Textura*			*Fertilidad*					
	Profundidad efectiva (cm)	*Erosión actual*	*Arena (%)*	*Limo (%)*	*Arcilla (%)*	*pH*	*N-NO3 (kg/ha)*	*P (kg/ha)*	*K (ppm)*	*Ca (ppm)*	*Mg (ppm)*
1	30-60	Sin erosión	59	16	24	6	288	19	337	3112	187
2	30-60	Sin erosión	55	16	28	7	200	14	562	4362	287

arroyos y a pendientes muy pronunciadas. La pregunta más interesante respecto a la conservación de *Pseudotsuga menziesii* es averiguar si la especie en estos rodales se está regenerando de manera adecuada. Los cocientes obtenidos de dividir el número de árboles considerados como regeneración entre el número de árboles con un diámetro a la base mayor o igual a 7,5 cm fueron de 1,85 y 2,5; para los sitios 1 y 2, respectivamente. Ambos coeficientes son mayores que 1, por tanto, se puede inferir que los árboles maduros serán remplazados por la regeneración observada en este estudio. Este hallazgo difiere del encontrado por Ledig *et al.* (2000) en 38 rodales de *Picea chihuahuana* localizados en los estados de Durango y Chihuahua, lo cual confirma que el estatus de conservación de *Pseudotsuga menziessi*, se encuentra menos amenazado.

Conclusiones

En esta región, *Pseudotsuga menziesii* se asocia principalmente con el género *Quercus*, específicamente con *Q. sideroxyla* y *Q. eduardii*. El sitio 2 (localidad Los Castillo) tuvo valores más altos de presencia (n/ha) de *Pseudotsuga menziesii* que el sitio 1 (Ejido San Juan de Michis) En el caso de la estructura espacial del estrato superior, se concluyó que el sitio 1 presenta una distribución aleatoria y el sitio 2 tiende al agrupamiento de los árboles. Con respecto al índice de mezcla, ambos sitios presentaron relativa alta diversidad y mezcla de especies.

La mayor abundancia y los valores más altos de Pseudotsuga menziesii en las variables registradas suponen que esta especie se desarrolla con éxito en climas con lluvias de verano (Cw). El uso de suelo y los factores antropogénicos pueden, también, determinar el establecimiento de su regeneración. Por razones legales, no fue posible realizar una prueba estadística que determinara la variación de producción de conos y semillas. Sin embargo, es importante señalar que en los dos sitios se contabilizó un bajo número de semillas y un porcentaje muy bajo de viabilidad. En relación con el análisis del suelo, se observó que no se tienen problemas de erosión aparente en los sitios y que los valores de micronutrientes son aptos para el desarrollo de esta especie

Al igual que en el estrato superior, la regeneración de *Pseudotsuga menziesii* tuvo mayor abundancia y los valores más altos de la variables registradas. Por otro lado, los datos de clima analizados, muestran que esta especie se desarrolla en un tipo de clima Cw (con lluvias en verano), factor que puede determinar el establecimiento de la regeneración de esta especie. Debido al bajo número de conos colectados por razones legales, no fue posible realizar una prueba estadística que determinara la variación de producción de conos y semillas.

Sin embargo, es importante señalar que en los dos sitios, se contabilizó un bajo número de semillas y un porcentaje muy bajo de viabilidad. En relación con el análisis del suelo, se observó que no se tienen problemas de erosión aparente en los sitios y que los valores de micronutrientes son aptos para el desarrollo de esta especie.

Referencias

Aguirre-Calderón, O.A., Hui G.Y., K. Gadow, J. Jiménez-Pérez, 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183(1-3):137-145.

Corral-Rivas, J.J., O.A. Aguirre-Calderón y J. Jiménez-Pérez. 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña “El Cielo”, Tamaulipas, México. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 14(2):217-228.

Dirección de la Reserva de la Biosfera La Michilía. 2004. Plan rector de las microcuencas de la Reserva de la Biosfera La Michilía. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Durango, Dgo. Méx. 136 p.

Domínguez-Álvarez, F.A., J.J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, P. Ramírez-Vallejo y E. Guizar-Nolazco. 2004. Aspectos Ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. *Serie Botánica* 75(2):191-203.

Domínguez-Álvarez, F.A. 1994. Análisis histórico-ecológico de los bosques de *Pseudotsuga* en México. Folleto Técnico INIFAP 43 p.



García-Arévalo, A. y M.S. González-Elizondo. 2003. Pináceas de Durango. Segunda edición. Instituto de ecología A.C. y Comisión Nacional Forestal. 187 p.

González-Elizondo, M.S., M. González-Elizondo y A. Cortez-Ortiz 1993. Vegetación de la Reserva de la Biosfera la Michilía. Durango, Mex. *Acta Botanica Mexicana* 22:1-104.

González-Elizondo, M.S., M. González-Elizondo y M.A. Márquez-Linares. 2007. Vegetación y ecoregiones de Durango. Editorial Plaza y Valdez S.A. de C.V. 219 p.

Gordon, A. G. 1968. Ecology of *Picea chihuahuana* Martinez. *Ecology* 49(5):880-896.

Corral-Rivas, J.J., B. Vargas-Larreta, C. Wehenkel y O.A. Aguirre-Calderón. 2009. Guía para el establecimiento de sitios de investigación forestal y de suelos en bosques del estado de Durango. Editorial de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango. 81p.

Ledig, F.T., M. Mápula-Larreta, B. Bermejo-Velázquez, V. Reyes-Hernández, C. Flores-López y M.A. Capo-Arteaga. 2000. Locations of endangered spruce populations in Mexico and the demography of *Picea chihuahuana*. Madroño 47(2):71-78.

Moreno-Álvarez, M.T., L.F. Benito-Matías, N. Herrero-Sierra, S. Domínguez-Lerena y J.L. Peñuelas-Rubira. 2001. Estudio de nuevos métodos de determinación de la viabilidad de las semillas forestales: test de electroconductividad e índigo carmín. Comparación con el test del tetrazolio y su aplicación a *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis*. Actas del III Congreso Forestal Español. Granada., Mesa 3:653-658

Műller-Using, B. y G. Wachtel 1986. Estructura del estrato arbóreo, estado de la regeneración e intensidad luminosa en un bosque de alta montaña en el Noreste de México fundamentos ecológicos, usos actuales y potenciales de los bosques y matorrales en el Noreste de México. J.D. Sauerl nder´s Verlag Frankfurt am Main. p: 215-220.

NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. 30 de diciembre 2010.

Rentería-Arrieta, L. I. y A. García-Arévalo. 1997. Las coníferas de la Reserva de la Biosfera «La Michilía», Durango, México. Madera y Bosques 3(1):53-70 53

SAS Institute Inc., 2008. SAS/ETS® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC. 2861 p.

Velasco-García, M.V., J. López-Upton, G. Ángeles Pérez, J.J. Vargas-Hernández, V. Guerra de la Cruz. 2007. Dispersión de semillas de *Pseudotsuga menziesii*, en poblaciones del centro de México. *Agrociencia* 41(1):121-131.

Ventura R., A., J. López U., J.J. Vargas H. y V. Guerra C. 2010. Caracterización de *Pseudotsuga menziesii* en el centro de México, implicaciones para la conservación. Revista Fitotecnia Mexicana 33(2):107-116.

Manuscrito recibido el 16 de enero de 2013.
Aceptado el 7 de enero de 2014.

Este documento se debe citar como:
Domínguez-Calleros, P.A., G.A. Chávez-Flores, E. Rodríguez-Téllez, J.J. Corral-Rivas, J.R. Goche-Telles y M.A. Díaz-Vásquez. 2014. Caracterización silvícola de *Pseudotsuga Menziesii* en la Reserva de la Biosfera "La Michilía". *Madera y Bosques* 20(2):23-31.

Madera y **Bosques** vol. **20**, núm. **2 : 33-48** Verano **2014**



Ecuaciones de biomasa aérea para *Quercus laurina* y *Q. crassifolia* en Oaxaca

Aerial biomass equations for *Quercus laurina* and *Q. crassifolia* in Oaxaca

Faustino Ruiz-Aquino[1,2]*, Juan Ignacio Valdez-Hernández[2], Filemón Manzano-Méndez[1], Gerardo Rodríguez-Ortiz[3], Angélica Romero-Manzanares[2] y Martha Elena Fuentes-López[4]

1 Universidad de la Sierra Juárez, Instituto de Estudios Ambientales, Oaxaca, México
2 Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Edo. de México, México
3 División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México
4 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental San Martinito. México

* Autor para correspondencia: ruiz.faustino@colpos.mx

Resumen

La estimación de la biomasa arbórea es un medio para determinar los montos existentes de carbono orgánico en cada uno de los componentes del árbol. Los estudios sobre biomasa aérea para especies del género *Quercus* son escasos en México, aun cuando el país es considerado un centro de distribución. El objetivo del presente trabajo fue generar ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de árboles de *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. y *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl., en un bosque de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Se muestrearon 16 árboles por cada especie, distribuidos en seis categorías diamétricas y se determinó la biomasa en fuste con corteza, ramas y follaje. Se evaluaron diferentes modelos de regresión con base en la bondad de ajuste y validez de sus indicadores estadísticos. Se eligió la ecuación exponencial de la forma $Biomasa = e^{\left[-\beta_0+\beta_1 \ln\left(DN^2 \times AT\right)\right]}$, para calcular la biomasa (kg) en función al diámetro normal (DN, cm) y altura total (*AT*, m) de los árboles. La biomasa aérea total se estimó en 100,15 Mg ha^{-1} para *Q. laurina* y 129,97 Mg ha^{-1} para *Q. crassifolia*. La distribución proporcional de biomasa por compartimento de *Q. laurina* fue 82,9%; 14,9% y 2,2% para fustes, ramas y follaje, respectivamente, mientras que para *Q. crassifolia* la distribución fue 82,3%; 16,0% y 1,7%; en el mismo orden.

Palabras clave: categorías diamétricas, diámetro normal, follaje, fuste, ramas.

Abstract

Estimating tree biomass is a means to determine the existing amounts of organic carbon in each of the tree components. Studies of biomass for *Quercus* species are scarce in Mexico, even though the country is considered a distribution center. The aim of this study was to generate allometric equations for estimating aboveground biomass of trees *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. and *Q crassifolia* Humb. & Bonpl., in a forest community of Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Sixteen trees were sampled per species, distributed in six diameter categories and biomass was determined in stem bark, branches and foliage. Different regression models were evaluated based on fitness and validity of their statistical indicators. An exponential equation was chosen in the form of $Biomasa = e^{\left[-\beta_0+\beta_1 \ln\left(DN^2 \times AT\right)\right]}$, to calculate the biomass (kg) within a normal diameter (DN, cm) and total height (*AT*, m) of the trees. The total aboveground biomass was estimated at 100,15 Mg ha^{-1} for *Q. laurina* and 129,97 Mg ha-1 for *Q. crassifolia*. The proportional distribution of biomass per component of *Q. laurina* was 82,9%; 14,9% and 2,2% for stems, branches and foliage, respectively, while for *Q. crassifolia* the distribution was 82,3%; 16,0% and 1,7% in the same order.

Key words: diametric categories, normal diameter, foliage, stem, branches.

Introducción

La estimación de la biomasa es un medio para cuantificar la cantidad de CO_2 que puede ser liberado a la atmosfera, o extraído y fijado en los bosques (Clark y Clark, 2000; Návar, 2009). Sirve como parámetro para la planificación del aprovechamiento maderable al determinar la productividad de los bosques (Kauffman *et al.*, 2009). Además, es la base para el estudio de elementos biogeoquímicos como el nitrógeno (Basuki *et al.*, 2009; Návar-Cháidez, 2010), y también es un indicador de la cantidad de materia prima disponible para combustible, como una fuente renovable de energía (Gómez-García *et al.*, 2013).

La cantidad total de materia orgánica aérea presente en los árboles, incluye hojas, ramas, tronco y corteza, y su conjunto se define como biomasa aérea (Garzuglia y Saket, 2003); su valoración en cualquier componente del ecosistema requiere la aplicación de métodos directos o indirectos (Brown *et al.*, 1989; Vásquez y Arellano, 2012). La estimación de biomasa por el método directo es el más comúnmente usado (Díaz-Franco, 2007); el procedimiento consiste en cortar el árbol y pesar directamente cada componente; sin embargo, su utilización en ecosistemas forestales está condicionada por los altos costos que representa.

Para estimar la acumulación de la biomasa se requiere de modelos matemáticos simples basados en un número reducido de parámetros obtenidos de los árboles, que permitan estimar con precisión y confiabilidad la biomasa de las especies arbóreas (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Avendaño-Hernández *et al.*, 2009). En particular, las ecuaciones alométricas son importantes para cuantificar el almacenamiento de biomasa y carbono en ecosistemas terrestres (Litton y Kauffman, 2008).

En México, los estudios para la estimación de biomasa del género *Quercus* generalmente han agrupado a las especies. Por ejemplo, cinco especies de la meseta central de Chiapas (Ayala-López *et al.* 2001), dos especies de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2007), tres especies del sureste de Nuevo León (Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009) y dos especies de la Sierra Madre Occidental en Durango (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010); también se han generado ecuaciones específicas para algunas especies de encinos como *Q. peduncularis* Née. de Oaxaca (Acosta-Mireles *et al.*, 2002), *Q. sideroxila* Humb. & Bonpl. de Durango (Merlin-Bermúdez y Návar-Cháidez, 2005), Q. *rysophylla* Weath., *Q. xalapensis* Humb. & Bonpl. y *Q. germana* Schldl. & Cham. de Tamaulipas (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2009), y *Q. magnoliaefolia* Née de la Sierra de Huautla, Morelos (Gómez-Díaz *et al.*, 2011).

Návar-Cháidez (2010) al evaluar la importancia de las ecuaciones alométricas a nivel de especie para cada sitio específico, encontró una mejoría de 5% en el coeficiente de determinación y de 20% en el error estándar. En el mismo sentido, Cairns *et al.* (2000) y Ferry *et al.* (2008) indican que la acumulación de biomasa aérea depende de variables como el clima, el suelo y las especies arbóreas, entre otras. También, Acosta-Mireles *et al.* (2002) al comparar las ecuaciones alométricas de seis especies arbóreas de Oaxaca, determinaron que a pesar de que las especies presentaban similitud en el patrón de crecimiento y arquitectura de copa, no fue posible ajustarlas a la misma ecuación alométrica. Lo anterior confirma el señalamiento de Wang (2006) y Rodríguez *et al.* (2012), que la estimación precisa de biomasa requiere, por lo general, ecuaciones particulares para cada especie.

Las especies *Q. laurina* y *Q. crassifolia* (encinos rojos) pertenecen a la sección Lobatae (Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo, 2008) y tienen amplia distribución, ocurre en 15 estados de México (Valencia, 2004). *Quercus crassifolia* es una especie que tiene grandes posibilidades de ser utilizada industrialmente debido a la calidad de su madera en términos de su respuesta en operaciones de torneado, taladrado, moldurado y lijado (Flores-Velázquez *et al.*, 2013), además del potencial ornamental y su utilidad en la recuperación de suelos degradados (Rubio-Licona *et al.*, 2011). Por otro lado, *Q. laurina* presenta fustes bien conformados y madera con excelentes características tecnológicas (Flores-Velázquez *et al.*, 2007; Flores Velázquez *et al.*, 2013). Además de la importancia mencionada, el presente estudio serviría como parámetro para estimar la productividad del bosque de encinos de Ixtlán de Juárez, Oaxaca; permitiría cuantificar la biomasa aérea que acu-



mulan *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, como una alternativa para el pago por servicios ambientales al ingresarlas al mercado del carbono; y también, sería útil para determinar el potencial de estas especies como una fuente de energía limpia al fijar el CO_2 durante los procesos fotosintéticos y utilizarlas en la producción de combustibles renovables.

Objetivo

Generar ecuaciones alométricas que permitan estimar la biomasa aérea total y su distribución en tres principales componentes (fuste, ramas, follaje) para árboles de *Q. laurina* y *Q. crassifolia* en un bosque de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en un bosque de pino-encino de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, localizado entre las coordenadas geográficas: 17°18'16" y 17°30'00" N; 96°31'38" y 96°22'00" O (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2010). Según la clasificación de Köppen modificado por García (1987), el clima del bosque de pino-encino es C (m)(w'')b(i')g, templado húmedo con lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 20 °C y la precipitación pluvial varía de 800 mm a 1200 mm al año (Aquino-Vásquez *et al.*, 2012). El tipo de suelo más común en el área de estudio es el Acrisol húmico (Ah) con textura media limosa, caracterizada por presentar en la superficie una capa muy rica de materia orgánica de color oscuro (Rainforest Alliance, 2006).

En los bosques de pino encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, *Q. laurina* y *Q. crassifolia* se encuentran cohabitando con especies del género *Pinus* así como especies latifoliadas: *Arbutus xalapensis* Kunth, *Alnus acuminata arguta* (Schltdl.) Furlow, *Prunus serotina* Ehrn., *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsheim y *Litsea glaucescens* Kunth, entre otras (Aquino-Vásquez *et al.*, 2012). Las especies de encino predominantes sobre este tipo de vegetación son *Q. crassifolia*, *Q. laurina*, *Q. obtusata* Humb. & Bonpl, *Q. oleoides* Schltdl. & Cham. y *Q. conspersa* Benth.

Los árboles muestreados se obtuvieron de dos rodales con exposición suroeste y con dominancia de especies del género *Quercus*. El primer rodal (17°21'22" N y 96°27'42" O) está situado en un terreno con pendiente de 40% a una altitud de 2707 m y la especie dominante es Q. *laurina*. El segundo rodal (17°21'08" N y 96°27'31" O) está situado en un terreno con pendiente de 20% a una altitud de 2631 m y la especie dominante es *Q. crassifolia*.

Selección y derribo de árboles

En los dos rodales dominados por *Quercus*, se establecieron tres unidades de muestreo de 50 m x 50 m cada una. Se midió el diámetro normal (*DN*, cm) y la altura total (*AT*, m) de todos los individuos de *Q. laurina* y *Q. crassifolia* con *DN* ≥ 2,5 cm, con la finalidad de clasificar a los árboles por categorías diamétricas (CD) y muestrear la mayor cantidad disponible. Para *Q. laurina* la máxima CD encontrada fue de 30 cm y para *Q. crassifolia* de 35 cm. Sin embargo, en esta CD de 35 cm se localizaron pocos individuos de *Q. crassifolia*, además árboles no representativos de la comunidad (bifurcados o con presencia de plagas), por lo que se decidió no incluirlos para el muestreo y trabajar con categorías diamétricas entre 5 cm y 30 cm para ambas especies. Por lo anterior, las ecuaciones alométricas generadas son útiles para este intervalo de CD (5 cm a 30 cm).

Se eligieron 16 árboles por cada especie (32 en total), sanos, de fuste recto y no bifurcados, obteniendo la muestra de forma proporcional a la frecuencia relativa de cada categoría diamétrica, con la intención de muestrear toda la variabilidad existente (Manzano-Méndez *et al.*, 2010). A los individuos se les midió el *DN* con cinta diamétrica y *AT* con clinómetro marca Brunton modelo CM360LA, antes de ser derribados.

Separación por componentes

Posterior al derribo en campo, se separó el componente aéreo del árbol (fuste con corteza, ramas y follaje) para obtener su peso húmedo (*Ph*, en kg) (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Avendaño-Hernández *et al.*, 2009; Gómez-Díaz *et al.*, 2011). Los tallos y ramas principales se cortaron en

trozas de 1 m de longitud y se pesaron en una báscula electrónica marca Torrey serie EQB/EQM con capacidad de 100 kg ± 100 g, mientras que las ramas secundarias y follaje fueron pesadas en una balanza electrónica marca Ohaus modelo SP6001 con capacidad de 6 kg ± 0,1 g.

Pesado y secado de muestras

El peso seco de cada árbol se determinó por extrapolación en el laboratorio, a partir de cinco rodajas de 5 cm de grosor para fuste (160 rodajas completas en total), cinco muestras de 100 g para ramas (160 en total) y cinco muestras de 100 g para follaje (160 en total); previamente cada muestra fue pesada en campo para tener la referencia del peso húmedo y hacer el ajuste para las fracciones de las partes del árbol que no fueron secadas en el laboratorio.

El secado de las muestras se realizó en una estufa eléctrica RIOSSA modelo HD41, a una temperatura de 100 °C hasta alcanzar su peso constante (Muñoz *et al.*, 2005), mismo que fue verificado registrando el peso de las muestras cada 24 horas con una balanza electrónica marca Ohaus, Modelo Precision Standard con capacidad de 5 kg ± 0,01 g. De acuerdo con Walker (2010), el contenido de humedad ($CH\%$) se obtuvo mediante la fórmula:

$$CH\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

donde:

Ph : peso húmedo (kg)

Ps : peso seco (kg)

El contenido de humedad se aplicó al peso total de madera de fuste, ramas y follaje (Flores-Nieves *et al.*, 2011) para obtener el peso seco a partir del peso húmedo, por medio de la ecuación:

$$B_C = PH_C - \frac{PH_C \times CH_C}{100} \quad (2)$$

donde:

Bc : biomasa del componente (kg)

PHc : peso húmedo del componente (kg)

CHc : contenido de humedad del componente

La suma del peso seco de cada componente constituyó la biomasa aérea total del árbol (Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009).

Análisis estadístico

Las ecuaciones alométricas convencionales utilizan generalmente el diámetro normal para estimar la biomasa (Návar *et al.*, 2004; Avendaño-Hernández *et al.*, 2009), sin embargo las ecuaciones de mejor estimación de biomasa están en función del diámetro normal y altura total (Brown *et al.*, 1989; Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2012). En el presente estudio se analizaron las siguientes ecuaciones para estimar la biomasa del fuste, ramas, follaje y la biomasa total:

$$y = e^{[-\beta_0 + \beta_1 \ln(DN \times AT)]} \quad (3)$$

$$y = e^{[-\beta_0 + \beta_1 \ln(DN^2 \times AT)]} \quad (4)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 \times DN^2 \times AT \quad (5)$$

$$y = \beta_0 (DN \times AT)^{\beta_1} \quad (6)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 \times DN^2 + \beta_2 \times AT + \beta_3 (DN^2 \times AT) \quad (7)$$

donde:

y : biomasa (kg)

DN : diámetro normal (cm)

AT : altura total (m)

β_0, β_1, β_2, y β_3 : parámetros de regresión

La ecuación de mejor ajuste se comparó con la ecuación de Schumacher (Ecuación 8) que utiliza como variable independiente el DN, por ser una de las más frecuentemente utilizadas (Méndez-González *et al.*, 2011). También, se realizó una comparación con ecuaciones que han sido generadas para especies del género *Quercus* aplicadas a las variables medidas en los rodales del presente estudio.

$$y = \beta_0 \left(e^{-\beta_1 / DN}\right) \quad (8)$$



El análisis de las ecuaciones se realizó con el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1996), evaluándose modelos de regresión lineal (PROC GLM) y no lineal (PROC MODEL) para estimar la biomasa total y de cada componente (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2012). Para la elección de las ecuaciones se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Fonseca *et al.*, 2009), analizándose los siguientes indicadores de ajuste: coeficiente de determinación ajustado (R^2), error estándar (*EE*), cuadrado medio del error (*CME*) y significancia de los parámetros de cada ecuación (Álvarez-González *et al.*, 2005; Rojo-Martínez *et al.*, 2005).

Biomasa aérea por unidad de superficie

La biomasa aérea se cuantifica en kilogramos por árbol o en toneladas por hectárea de peso seco (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010). Para la evaluación de la biomasa aérea por unidad de superficie, de *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, se utilizaron los datos medidos en las tres unidades de muestreo, con estos datos y con la ecuación que presentó el mejor ajuste por componente, se calculó la biomasa aérea total de estas dos especies, sumando la biomasa de fuste, ramas y follaje para cada especie por UM, de acuerdo con el procedimiento efectuado por Domínguez-Cabrera *et al.* (2009).

Factor de expansión de biomasa

Al cociente de la biomasa aérea total y la biomasa de los fustes se le denomina factor de expansión de biomasa (*FEB*) (Dauber *et al.*, 2002). El método que emplea los *FEB* se utiliza cuando se requiere evaluar la biomasa total con información de inventarios forestales donde se cuantifica el volumen de especies arbóreas (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010) y consiste en multiplicar la biomasa de los fustes por el *FEB* dando como resultado el valor de la biomasa total (Dauber *et al.*, 2002). Según Domínguez-Cabrera *et al.* (2009), los *FEB* se han calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$FEB = \frac{B_f + B_r + B_h}{B_f} \quad (9)$$

donde:

B_f = biomasa de fuste, B_r = biomasa de ramas y B_h = biomasa de hojas.

De acuerdo con Rodríguez-Ortiz *et al.* (2012), mediante ecuaciones de volumen total con la relación:

$$FEB = \frac{BT}{EV} \quad (10)$$

donde:

BT = biomasa total, *EV* = ecuación de volumen.

En el presente estudio los *FEB* se calcularon con la ecuación de biomasa total (*BT*) y la ecuación de biomasa de fuste (B_f) por medio de la relación:

$$FEB = \frac{BT}{B_f} \quad (11)$$

Resultados

En la tabla 1 se muestran los estadísticos de los árboles de Q. *laurina* y *Q. crassifolia*, medidos en tres unidades de muestreo (UM) de 2500 m^2 cada una. El *DN* máximo empleado para generar las ecuaciones de *Q. laurina* fue de 31,0 cm, para esta especie el *DN* máximo medido en las UM fue 32,5 cm. Para *Q. crassifolia* el *DN* máximo medido en las UM fue de 35,7 cm y el *DN* máximo utilizado para generar las ecuaciones fue de 31,0 cm. En ambos casos, las ecuaciones alométricas son útiles para el *DN* máximo utilizado al generarlas. En el mismo sentido, respecto a las alturas máximas consideradas para las ecuaciones, son valores cercanos al intervalo medido en las unidades de muestreo.

Los estadísticos para las variables utilizadas en este estudio se presentan en la tabla 2, donde para cada especie de encino el tamaño de muestra de árboles fue mayor al empleado para generar las ecuaciones de estudios previos, e.g. *Quercus peduncularis* (n = 8) (Acosta-Mireles *et al.*, 2002), *Q. rysophylla* (n = 8), *Q. cambyi* Tre. (n = 8), *Q. laceyi* Small (n = 7) (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2007) y *Q. magnoliaefolia* (n = 12) (Gómez-Díaz *et al.*, 2011).

TABLA 1. Diámetro y altura de *Quercus laurina* y *Q. crassifolia*, medidos en unidades de muestreo.

Estadístico	*Quercus laurina* (n = 312)			*Quercus crassifolia* (n = 314)		
	CD (cm)	*DN* (cm)	*AT* (m)	*CD* (cm)	*DN* (cm)	*AT* (m)
Mínimo	5	3,20	2,50	5	3,2	2,50
Máximo	30	32,50	25,00	35	35,7	26,00
Media		16,71	13,64		20,9	14,80
EE		0,48	0,33		0,47	0,31

CD = Categoría diamétrica; DN = Diámetro normal; AT = Altura total; EE = Error estándar

TABLA 2. Diámetro, altura y biomasa de *Quercus laurina* y *Q. crassifolia*, utilizados para generar las ecuaciones alométricas.

Estadístico	*Quercus laurina*			*Quercus crassifolia*		
	DN (cm)	AT (m)	*BT* (kg)	*DN* (cm)	*AT* (m)	*BT* (kg)
Mínimo	6,00	9,60	8,37	5,00	7,20	7,24
Máximo	31,00	25,50	675,35	31,00	25,00	604,18
Media	16,84	18,73	203,49	16,53	16,12	202,01
EE	2,06	1,15	53,15	2,05	1,57	52,79

DN = Diámetro normal; AT = Altura total; EE = Error estándar; BT = Biomasa total.

La proporción de biomasa aérea por componente se muestra en la tabla 3, donde se observa que la mayor acumulación de biomasa aérea en ambas especies se concentra en el fuste (> 80%).

Los encinos descritos en el presente estudio acumularon entre sí porcentajes similares en la distribución de biomasa para los diferentes componentes. Los modelos evaluados para los datos de biomasa aérea total de *Q. laurina* y *Q. crassifolia* se presentan en las tablas 4 y 5, respectivamente.

En el presente estudio para ambas especies se eligió la ecuación $y = e^{\left[-\beta_0+\beta_1 \ln\left(DN^2 \times AT\right)\right]}$ en función a sus indicadores

TABLA 3. Distribución de biomasa aérea por componente.

Estadístico	*Q. laurina*			*Q. crassifolia*		
	Fuste	*Ramas*	*Follaje*	*Fuste*	*Ramas*	*Follaje*
Mínimo	7,99 (95,4)	0,31(3,7)	0,08 (0,9)	6,75 (93,2)	0,33 (4,5)	0,16 (2,3)
Máximo	546,45 (80,9)	113,16 (16,8)	15,75 (2,3)	484,62 (80,2)	106,74 (17,7)	12,82(2,1)
Media	168,70 (82,9)	30,28 (14,9)	4,51 (2,2)	166,23 (82,3)	32,32 (16,0)	3,45 (1,7)
EE	43,02	8,92	1,27	42,00	9,95	1,05

EE = Error estándar; el valor entre paréntesis representa el porcentaje de acumulación de biomasa.



TABLA 4. Modelos evaluados para biomasa aérea total de *Quercus laurina*.

Ecuación	*Parámetros*	*Error estándar*	*Valor t*	*Pr>|t|*	*CME*	*R^2*
(3)	β_0 = 5,6930	0,5259	10,83	< 0,0001	615,0	0,9864
	β_1 = 1,8361	0,0813	22,59	< 0,0001		
(4)	β_0 = 4,3375	0,3756	11,55	< 0,0001	387,7	0,9914
	β_1 = 1,0760	0,0384	28,03	< 0,0001		
(5)	β_0 = -9,3407	7,6716	-1,22	0,2435	453,0	0,9900
	β_1 = 0,0281	0,0007	38,51	< 0,0001		
(6)	β_0 = 0,0034	0,0018	1,90	0,0780	615,0	0,9864
	β_1 = 1,8361	0,0813	22,59	< 0,0001		
(7)	β_0 = 29,6627	32,6749	0,91	0,3818	469,2	0,9896
	β_1 = 0,0191	0,2330	0,08	0,9360		
	β_2 = -2,6628	2,3025	-1,16	0,2700		
	β_3 = 0,0286	0,0089	3,20	0,0077		

β_0, β_1, β_2 y β_3 = Parámetros de las ecuaciones; CME = Cuadrado medio del error; R^2 = Coeficiente de determinación ajustado.

TABLA 5. Modelos evaluados para biomasa aérea total de *Quercus crassifolia*.

Ecuación	*Parámetros*	*Error estándar*	*Valor t*	*Pr>|t|*	*CME*	*R^2*
(3)	β_0 = 3,8124	0,6632	5,75	< 0,0001	1048,7	0,9765
	β_1 = 1,5498	0,1032	15,02	< 0,0001		
(4)	β_0 = 2,8664	0,5016	5,71	< 0,0001	780,9	0,9825
	β_1 = 0,9276	0,0516	17,99	< 0,0001		
(5)	β_0 = 9,4894	9,9543	0,95	0,3566	833,5	0,9813
	β_1 = 0,0275	0,0010	28,08	< 0,0001		
(6)	β_0 = 0,0221	0,0147	1,51	0,1538	1048,7	0,9765
	β_1 = 1,5497	0,1032	15,02	< 0,0001		
(7)	β_0 = -5,7525	29,8366	-0,19	0,8503	856,5	0,9808
	β_1 = 0,3756	0,3012	1,25	0,2362		
	β_2 = -0,6275	2,6706	-0,23	0,8182		
	β_3 = 0,0131	0,0114	1,15	0,2732		

β_0, β_1, β_2 y β_3 = Parámetros de las ecuaciones; CME = Cuadrado medio del error; R^2 = Coeficiente de determinación ajustado.

estadísticos: mayor valor del coeficiente de determinación ajustado, el menor valor del cuadrado medio del error, y la significancia de los parámetros de la ecuación; utilizando las mismas variables independientes para *Q. mongolica* Fisch. en Heilongjiang, China, en donde se mejoraron significativamente los indicadores estadísticos (Wang, 2006).

El análisis de la ecuación 8 mostró los siguientes indicadores estadísticos: *Q. laurina* (coeficiente de determina-

ción ajustado, R^2 = 0.972 y cuadrado medio del error, *CME* = 1076,4). *Q. crassifolia* (R^2 = 0.975 y *CME* = 810,5). Aunque para ambas especies el valor de R^2 es casi similar al obtenido utilizando la ecuación 4, el *CME* es mayor utilizando la ecuación 8.

Para los componentes (fuste, ramas y follaje) se utilizó la misma ecuación 4 que para la biomasa total, que fue la que se ajustó mejor a los datos observados en comparación con las otras ecuaciones. Los parámetros y estimadores de regresión por componentes para *Q. laurina* y *Q. crassifolia* se muestran en las tablas 6 y 7, respectivamente.

La relación de biomasa con el diámetro normal y la altura total, así como las ecuaciones obtenidas por componente para *Q. laurina* y *Q. crassifolia* se ilustran en las figuras 1 y 2, respectivamente; en ambas especies, el alto valor de R^2 indica una relación estrecha de la biomasa con el diámetro normal y la altura total.

En las tres unidades de muestreo (UM) establecidas en el presente estudio (superficie muestreada 7500 m^2), se midieron un total de 312 árboles de *Q. laurina* y 314 de *Q. crassifolia*, la biomasa aérea acumulada por *Q. laurina* en este estudio fue de 100,15 Mg ha^{-1} distribuidos en 416 árboles ha^{-1}, mientras *Q. crassifolia* acumuló 129,97 Mg ha^{-1} en 419 árboles ha^{-1}.

TABLA 6. Parámetros y estimadores de regresión de la ecuación 4 para componentes de *Quercus laurina*.

Componente	*Parámetros*	*Error estándar*	*Valor t*	*Pr>|t|*	*CME*	*R^2*
Fuste	β_0 = 4,2772	0,3925	10,90	< 0,0001	296,7	0,9900
	β_1 = 1,0493	0,0402	23,13	< 0,0001		
Ramas	β_0 = 7,3582	0,5524	13,32	< 0,0001	17,3	0,9864
	β_1 = 1,1962	0,0562	21,28	< 0,0001		
Follaje	β_0 = 9,1315	0,5696	16,03	< 0,0001	0,40	0,9845
	β_1 = 1,1801	0,0580	20,35	< 0,0001		

β_0 y β_1 = Parámetros de la ecuación; CME = Cuadrado medio del error; R^2 = Coeficiente de determinación ajustado.

TABLA 7. Parámetros y estimadores de regresión de la ecuación 4 para componentes de *Quercus crassifolia*.

Componente	*Parámetros*	*Error estándar*	*Valor t*	*Pr>|t|*	*CME*	*R^2*
Fuste	β_0 = 2,6861	0,5169	5,20	0,0001	591,3	0,9790
	β_1 = 0,8872	0,0533	16,66	< 0,0001		
Ramas	β_0 = 6,2523	1,0171	6,15	< 0,0001	69,7	0,9560
	β_1 = 1,0953	0,1039	10,54	< 0,0001		
Follaje	β_0 = 9,6246	0,5639	17,07	< 0,0001	0,20	0,9887
	β_1 = 1,2118	0,0574	21,10	< 0,0001		

β_0 y β_1 = Parámetros de la ecuación; CME = Cuadrado medio del error; R^2 = Coeficiente de determinación ajustado.



FIGURA 1. Biomasa aérea total y por componentes para *Quercus laurina*, en kg de peso anhidro.

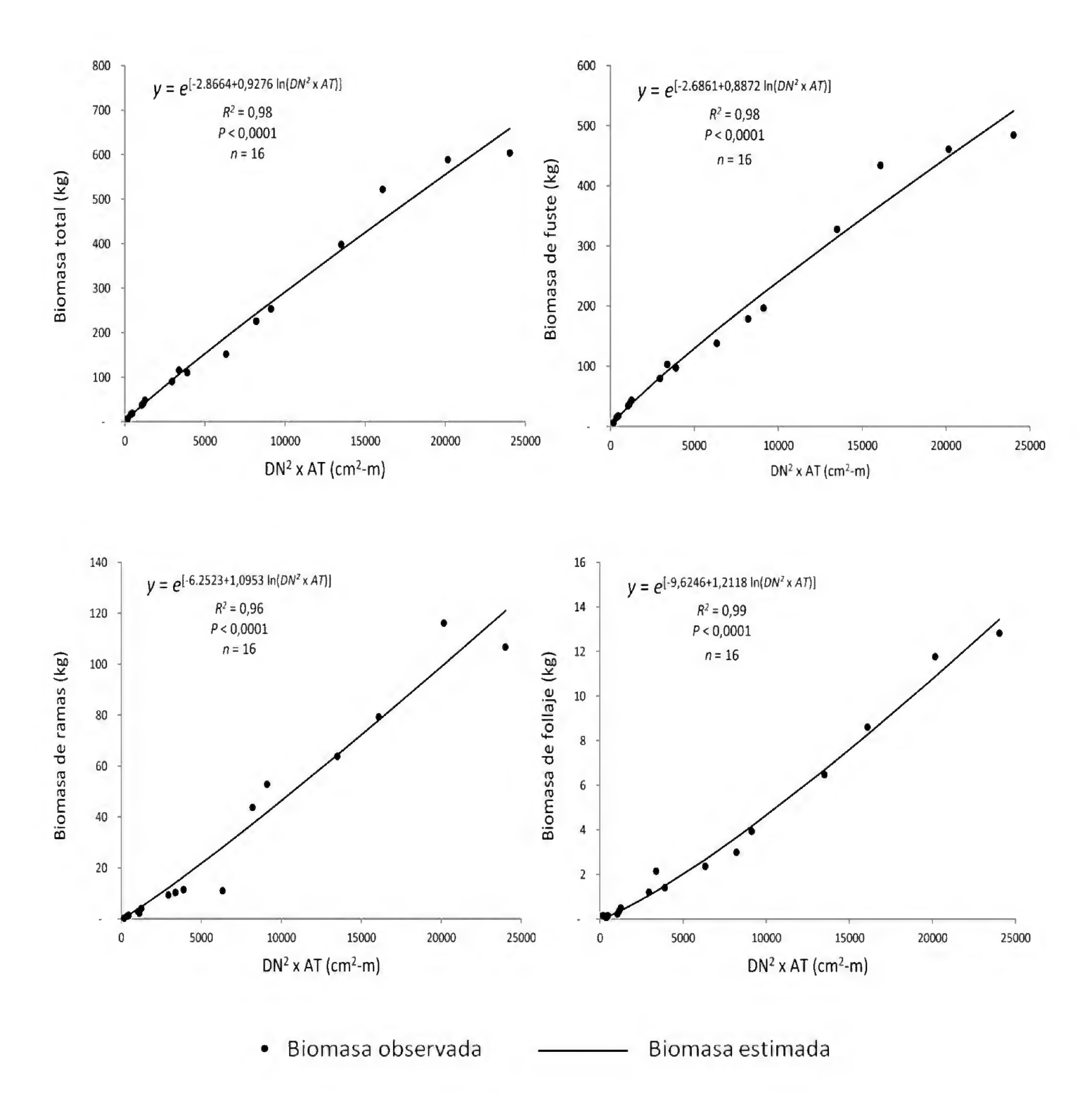


FIGURA 2. Biomasa aérea total y por componentes para *Quercus crassifolia*, en kg de peso anhidro.



En la tabla 8 se presentan algunas ecuaciones generadas para diferentes especies de *Quercus*, estas ecuaciones se aplicaron a los datos de las unidades de muestreo del presente estudio y se estimó la biomasa total para *Q. laurina* y *Q. crassifolia*.

Utilizando las ecuaciones generadas para estimar la biomasa aérea total y la biomasa de fuste de cada especie, el factor de expansión de biomasa para *Q. laurina* (ecuación 12) y *Q. crassifolia* (ecuación 13) quedó expresado como:

$$FEB = \frac{e^{\left[-4,3375+1,0760\ln\left(DN^2\times AT\right)\right]}}{e^{\left[-4,2772+1,0493\ln\left(DN^2\times AT\right)\right]}} = e^{\left[-0,0603+0,0267\ln\left(DN^2\times AT\right)\right]} \quad (12)$$

$$FEB = \frac{e^{\left[-2,8664+0,9276\ln\left(DN^2\times AT\right)\right]}}{e^{\left[-2,6861+0,8872\ln\left(DN^2\times AT\right)\right]}} = e^{\left[-0,1803+0,0404\ln\left(DN^2\times AT\right)\right]} \quad (13)$$

En promedio, para los 312 árboles muestreados de *Q. laurina* se obtuvo un *FEB* = 1,172 y para los 314 árboles de *Q. crassifolia* un *FEB* = 1,189; estos *FEB* indican que aproximadamente 17% para *Q. laurina* y 19% para *Q. crassifolia* de la biomasa aérea se distribuye en las ramas y follaje, mientras que más de 80% de la biomasa aérea se concentra en el fuste en ambas especies.

Discusión

La biomasa aérea total y por componentes para *Q. laurina* y *Q. crassifolia* se obtuvo mediante la ecuación 4 que utiliza como variables independientes el diámetro normal (*DN*) y la altura total (*AT*) de los árboles, variables que son registradas en los inventarios forestales. El uso del *DN* únicamente como variable independiente mostró un aumento en el cuadrado medio del error, lo que indica una menor precisión de la ecuación 8, respecto a la ecuación 4 que predice mejor los datos observados.

En la comparación de las ecuaciones que se generaron para diferentes especies de *Quercus* (Tabla 8), los valores obtenidos al aplicarlas, son diferentes a los valores resultantes luego de aplicar las ecuaciones específicas generadas en este estudio para *Q. laurina* y *Q. crassifolia*. Por ejemplo, utilizando la ecuación propuesta por Ayala-López (2001), se sobreestima en 62,9% la biomasa de *Q. laurina* y en 55,9% la de *Q. crassifolia*. Lo mismo sucede al aplicar la ecuación generada por Gómez-Díaz *et al.* (2011) que también sobreestima la biomasa aérea en 60,8% y 63,4%, para *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, respectivamente. Por otro lado, la ecuación generada por Acosta-Mireles *et al.* (2002), subestima, respecto a las ecuaciones generadas en el presente estudio, en 24,1% la biomasa de *Q. laurina* y en 23,6% la de *Q. crassifolia*. En el mismo sentido, la ecuación propuesta por Domínguez-Cabrera (2009), subestima en 21,8% y 18,8% la biomasa de *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, respectivamente. Estas comparaciones permiten establecer que, aunque se han generado ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de *Quercus*, su utilización se limita a las especies, o grupos de especies para las que fueron generadas, a las condiciones ambientales y de sitio donde cohabitan las especies, al patrón de crecimiento y a la arquitectura de copa (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Wang, 2006; Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2012). Por lo anterior, las ecuaciones generadas en este estudio pueden ser utilizadas en bosques que compartan las mismas condiciones de crecimiento y solo son aplicables a las especies para las que fueron generadas.

La acumulación de biomasa en el fuste de ambas especies fue en promedio seis por ciento superior a *Q. petraea* (Matt.) de Renania-Palatinado, Alemania (fuste 76,7%, ramas 21,1% y follaje 2,2%) (Suchomel *et al.*, 2012) y 20% mayor a *Q. magnoliaefolia* de Morelos, México (fuste 62,5%, ramas 27,8% y follaje 9,6%) (Gómez-Díaz *et al.*, 2011). Lo anterior puede deberse a que *Q. laurina* y *Q. crassifolia* presentan fustes rectos y poca ramificación en el área de estudio, misma que puede estar influenciada principalmente por factores físicos, edáficos, y por patrones de disturbio que afectan la estructura de la vegetación (Vásquez y Arellano, 2012). En el presente estudio el suelo presenta una capa rica en materia orgánica, con respecto al suelo publicado para *Q. magnoliaefolia* (textura media y superficie pedregosa), lo que puede favorecer el crecimiento de los árboles debido a la disponibilidad de nutrientes. Adicionalmente, el método silvícola utilizado en los bosques de Ixtlán de Juárez (selección de árboles individuales), por los disturbios oca-

TABLA 8. Ecuaciones generadas para especies de *Quercus*, aplicadas a datos medidos en unidades de muestreo.

Fuente	*Especies*	*Ecuación*	*Biomasa (Mg ha⁻¹)*	
			Q. laurina	*Q. crassifolia*
Ayala-López, 2001	*Q. crassifolia*, *Q. chrysophylla* Humb. & Bonpl., *Q. laurina*, *Q. rugosa* Née	$y = 0{,}2830(DN^2 \times AT)^{0{,}8070}$	163,16	202,60
Domínguez-Cabrera, 2009	*Q. laceyi* , *Quercus canbyi*, *Quercus rysophylla*	$y = 4371{,}395(e^{-70{,}972/DN}) + 1{,}3$	78,36	105,49
Acosta-Mireles *et al.*, 2002	*Q. peduncularis*	$\ln y = -2{,}27 + 2{,}39\ln(DN)$	76,07	99,29
Gómez-Díaz *et al.*, 2011	*Q. magnoliaefolia*	$y = 0{,}0345(DN)^{2{,}9334}$	161,00	212,42
Rodríguez-Laguna *et al.*, 2007	*Q. laceyi*, *Q. cambyi*	$\ln y = -2{,}3517 + 2{,}4700\ln(DN)$	91,79	120,08
Rodríguez-Laguna *et al.*, 2009	Q. *rysophylla*	$y = 0{,}9705(DN)^{1{,}8373}$	113,80	145,24
Rodríguez-Laguna *et al.*, 2009	*Q. xalapensis*	$y = 0{,}7764(DN)^{1{,}9384}$	126,95	162,88
Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010	*Quercus sideroxylla*, *Quercus rugosa*	$y = 0{,}0706(DN)^{2{,}4077} + 0{,}004(DN)^{3{,}0799}$	86,06	112,87
El presente estudio	*Q. laurina*	$y = e^{[-4{,}3375 + 1{,}0760\ln(DN^2 \times AT)]}$	100,15	
El presente estudio	*Q. crassifolia*	$y = e^{[-2{,}8664 + 0{,}9276\ln(DN^2 \times AT)]}$		129,97

y = Biomasa, DN = Diámetro normal; AT = Altura total



sionados en la apertura de claros en el dosel, favorece la entrada de luz, misma que es aprovechada por especies tolerantes como los encinos, lo que acelera su desarrollo y por ende, la acumulación de biomasa aérea.

El promedio de biomasa aérea hallado en este estudio para *Q. laurina* (100,15 Mg ha^{-1}), es similar al publicado para el bosque de pino-encino en el sur de Nuevo León, donde se encontró una biomasa total (BT) de 99,245 Mg ha^{-1} para *Quercus spp.* (Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009); sin embargo, tomando en cuenta el valor de biomasa aérea de *Q. crassifolia* (129,97 Mg ha^{-1}), obtenemos una biomasa aérea total para estas dos especies del bosque de pino encino de Ixtlán de Juárez de 230,12 Mg ha^{-1}. Esto supera ampliamente la biomasa que se ha publicado para el género *Quercus* en un bosque de pino-encino en el norte de Nuevo León (26,11 Mg ha^{-1}) (Silva-Arredondo y Návar-Chaídez, 2010), ó en el parque nacional Malinche entre los estados de Tlaxcala y Puebla (7,66 Mg ha^{-1}) (Rojas-García y Villers-Ruiz, 2008), así como para *Q. germana* en un bosque de pino-encino en Tamaulipas (17,3 Mg ha^{-1}) (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2009) y en un bosque de pino-encino del Jalisco (26,5 Mg ha^{-1}) (Castañeda-González *et al.*, 2012). Los valores de biomasa menores están en relación con la ausencia de árboles con diámetros mayores y menor densidad arbórea, acumulando la biomasa principalmente en categorías diamétricas inferiores. En contraste, los valores de biomasa obtenidos en el presente estudio están en función de promedios altos de área basal (24,73 m^2 ha^{-1}), altura total (14,5 m) y densidad arbórea (835 árboles ha^{-1}), parámetros asociados con condiciones ambientales favorables, tales como alta humedad relativa y suelos fértiles.

Los valores FEB obtenidos en este estudio son menores al encontrado para *Quercus spp.* (1,511) en un bosque de pino-encino, del sur de Nuevo León (Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009), valor influenciado principalmente por la proporción de biomasa en las ramas (> 50%), ya que a menor distribución de biomasa en el fuste mayor FEB; así mismo, la estructura del bosque desempeña un papel importante debido a que hay una relación inversa de los indicadores; a mayor altura de los árboles los FEB disminuyen (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010), en Ixtlán, Oaxaca, el promedio en altura de los árboles fue de 14,5 m, con individuos que superan los 20 m.

Conclusiones

En el bosque de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, la proporción de biomasa aérea por componentes para *Q. laurina* fue de 82,9%, 14,9% y 2,2% para fustes, ramas y follaje, mientras que para *Q. crassifolia* la distribución fue 82,3%, 16,0% y 1,7% en el mismo orden.

La biomasa aérea total para *Q. laurina* se estimó en 100,15 Mg ha^{-1} y para *Q. crassifolia* en 129,97 Mg ha^{-1}; en ambos casos, estos valores pudieron ser estimados mediante la ecuación exponencial , que presentó los mejores coeficientes de ajuste para ambas especies. Otras ecuaciones generadas para diferentes especies de *Quercus* y comparadas con la ecuación obtenida en este estudio, trabajadas todas con los mismos datos de campo, sobreestimaron o subestimaron la biomasa de *Q. laurina* y *Q. crassifolia*.

Los factores de expansión de biomasa: 1,172 para *Q. laurina* y 1,189 para *Q. crassifolia* permitirán realizar estimaciones confiables de biomasa por unidad de área al involucrar variables comúnmente registradas en operaciones de inventarios forestales.

Reconocimientos

El primer autor agradece al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP) por la beca para realizar estudios de Postgrado (Folio UNSIJ/001) y al Colegio de Posgraduados campus Montecillo, por el apoyo brindado. El Dr. Marcos Miguel González Peña corrigió una versión preliminar del presente documento

Referencias

Acosta-Mireles, M., J. Vargas-Hernández, A. Velázquez-Martínez y J.D. Etchevers-Barra. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6)6:725-736.

Álvarez-González, J.G., M.A. Balboa-Murias, A. Merino y R. Rodríguez-Soalleiro. 2005. Estimación de la biomasa arbórea de *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* en Galicia. *Recursos Rurais* 1(1):21-30

Aquino-Vásquez, C., F. Ruiz-Aquino y M.E. Fuente-Carrasco. 2012. Caracterización del patrimonio natural de la comunidad de Ixtlán de Juárez: una aproximación desde el espacio territorial. *In*: M.E. Fuente-Carrasco, F. Ruiz-Aquino y C. Aquino-Vásquez, eds. Conocimiento indígena contemporáneo y patrimonio biocultural en la Sierra Juárez de Oaxaca: Aportaciones empíricas y analíticas hacia la sustentabilidad. Universidad de la Sierra Juárez, México. p:35-59.

Avendaño-Hernández, D.M., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures y J.D. Etchevers-Barra. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Fitotecnia Mexicana* 32(3): 233-238.

Ayala-López, R., B.H. De Jong y H. Ramírez-Maldonado. 2001. Ecuaciones para estimar biomasa en la meseta central de Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7(2):153-157.

Basuki, M.T., P.E. Van Laake, A.K. Skidmore y Y.A. Hussin. 2009. Allometric equation for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257(8):1684-1694.

Brown, S., A.J. Gillespie y A.E. Lugo. 1989. Biomass estimation for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4):881-902.

Cairns, A.M., P.K. Haggerty, R. Alvarez, B.H. de Jong e I. Olmsted. 2000. Tropical Mexico´s recent land-use change: a region´s contribution to the global carbon cycle. *Ecological Applications* 10(5):1426-1441.

Castañeda-González, J.C., A. Gallegos-Rodríguez, M. Sánchez-Duran y P.A. Domínguez-Caballero. 2012. Biomasa aérea y posibles emisiones de CO_2 después de un incendio; caso del bosque “La Primavera”, Jalisco, México. *Ra Ximhai* 8(3):1-15.

Castellanos-Bolaños, J.F., E.J. Treviño-Garza, O.A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez Pérez y A. Velázquez-Martínez. 2010. Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2):39-52.

Clark, B.D., y D.A. Clark. 2000. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management* 137:185-198.

Dauber, E., J. Terán y R. Guzmán. 2002. Estimación de carbono y biomasa en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana* 1(1):1-10.

Díaz-Franco, R., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures, E. Buendía-Rodríguez, E. Flores-Ayala y J.D. Etchevers-Barra. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et. Cham. *Madera y Bosques* 13(1):25-34.

Domínguez-Cabrera, G., O. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, R. Rodríguez-Laguna y J.A. Díaz-Balderas. 2009. Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15 (1):59-64.

Ferry, S.F., C. Bernard, F.C. Breman, M. Vaan Beek, A. Salim y D. Douglas. 2008. Wood density as a conservation tool: quantification of disturbance and identification on conservation-priority areas in tropical forests. *Conservation Biology* 22(5):1299-1308.

Flores-Nieves, P., M.A. López-López, G. Ángeles-Pérez, M.L. Isla-Serrano y G. Calva-Vásquez. 2011. Modelos para estimación y distribución de biomasa de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. *et* Cham. en proceso de declinación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(8):9-20.

Flores-Velázquez, R., J.V. Rangel-Piñón, J. Quintanar-Olguin, M.E. Fuentes-López y L. Vázquez-Silva. 2007. Calidad de maquinado de la madera de *Quercus affinis* y *Quercus laurina*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(1):41-46.

Flores-Velázquez, R., M.E. Fuentes-López, J. Quintanar-Olguín y J.C. Tamarit-Urías. 2013. Maquinado de cuatro especies maderables de encino de la Sierra de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(16):22-33.

Fonseca, G.W., F.G. Alice y J.M. Rey. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1):36-47.

García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Kóppen (para adaptarlo a las condiciones de la



República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM. México. 217 p.

Garzuglia, M. y M. Saket. 2003. Wood volume and woody biomass: review of FRA 2000 estimates. Forest Resources Assessment WP 68. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 30 p.

Gómez-Díaz, J.D., J.D. Etchevers-Barra, A.I. Monterroso-Rivas, J. Campo-Alvez y J.A. Tinoco-Rueda. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2):261-272.

Gómez-García, E., Crecente-Campo, F. y U. Diéguez-Aranda. 2013. Tarifas de biomasa aérea para abedul (*Betula pubescens* Ehrh.) y roble (*Quercus robur* L.) en el noroeste de España. *Madera y Bosques* 19(1):71-91.

Kauffman, J.B., R.F. Hughes y C. Heider. 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agriculture abandonment in the neotropics. *Ecological Applications* 19(5):1211-1222.

Litton, C.M y J.B. Kauffman. 2008. Allometric models for predicting above-ground biomass in two widespread woody plants in Hawaii. *Biotropica* 40(3):313-320.

Manzano-Méndez, F., J.I. Valdez-Hernández, M.A. López-López y H. Vaquera-Huerta. 2010. Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 16(2):19-33.

Méndez-González, J., S.L. Luckie-Navarrete, M.A. Capó-Arteaga y J.A. Nájera-Luna. 2011. Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia* 45(4): 479-491.

Merlin-Bermúdez, E. y J.J. Návar-Cháidez. 2005. Desarrollo de un modelo de incremento y rendimiento para *Quercus sideroxila* en bosques mixtos de Durango México. *Agrofaz* 5(2):875-882.

Muñoz, R.C., J.C. Cancino y M.B. Espinosa. 2005. Análisis de biomasa del vuelo de un rodal adulto de *Pinus radiata*. *Bosque* 26(3):33-44.

Návar, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 257(2):427-434.

Návar, J., N. González, D. Maldonado, J. Graciano, V. Dale y B. Parresol. 2004. Biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, México. *Madera y Bosques* 10:17-28.

Návar-Cháidez, J.J. 2010. Biomass allometry for tree species of northwestern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12(3):507-519

Pérez-Olvera, C. y R. Dávalos-Sotelo. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80.

Rainforest Alliance. 2006. Resumen público de certificación de la comunidad de Ixtlán de Juárez Oaxaca. Consejo de Manejo Forestal y de SmartWood. Nueva York, EUA. 34 p.

Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, O. Aguirre-Calderón y E. Jurado-Ibarra. 2007. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en especies de encino y pino en Iturbide, N.L. *Ciencia Forestal en México* 32(101):39-56.

Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, O. Aguirre-Calderón, E.J. Treviño-Garza y R. Razo-Zárate. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biósfera el Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai* 5(3):317-327.

Rodríguez-Ortíz, G., H.M. De los Santos-Posadas, V.A. González Hernández, A. Aldrete, A. Gómez-Guerrero y A.M. Fierros-González. 2012. Modelos de biomasa aérea y foliar en una plantación de rápido crecimiento en Oaxaca. *Madera y Bosques* 18(1):25-41.

Rojas-García, F. y L. Villers-Ruiz. 2008. Estimación de la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche Tlaxcala-Puebla. *Ciencia Forestal en México* 33(104):59-86.

Rojo-Martínez, G.E., J. Jasso-Mata, J.J. Vargas-Hernández, D.J. Palma-López y A. Velázquez-Martínez. 2005. Biomasa aérea en plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) en el estado de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39(4):449-456.

Rubio-Licona, L.E., S. Romero Rangel y C. Rojas-Zenteno. 2011. Estructura y composición florística de dos comuni-

dades con presencia de *Quercus* (Fagacea) en el Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1):77-90.

SAS Institute. 1996. SAS/STAT User´s guide. SAS Institute, Inc., Raleigh, NC.

Silva-Arredondo, F.M. y J. Návar-Cháidez. 2010. Factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1):55-62.

Suchomel, C., P. Pyttel, G. Becker y J. Bauhus. 2012. Biomass equations for sessile oak (*Quercus* petraea (Matt.) Liebl.) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in aged coppiced forests in southwest Germany. *Biomass and Bioenergy* 46:722-730.

Valencia, A.S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (*Fagaceae*) en México. *Boletín de la sociedad Botánica de México* 75:33-53.

Vásquez, A. y H. Arellano. 2012. Estructura, Biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del Sur y Noroccidente de Córdoba. arXiv:1208.0248. Disponible en http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1208/1208.0248.pdf

Walker, J.C.F. 2010. Primary wood processing principles and practice. Springer. Países Bajos. 596 p.

Wang, C. 2006. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests. *Forest Ecology and Management* 222(1):9-16.

Manuscrito recibido el 24 de enero de 2014.
Aceptado el 29 de abril de 2014.

Este documento se debe citar como:
Ruiz-Aquino, F., J.I. Valdez-Hernández, F. Manzano-Méndez, G. Rodríguez-Ortiz, A. Romero-Manzanares y M.E. Fuentes-López. 2014. Ecuaciones de biomasa aérea para *Quercus laurina* y *Q. crassifolia* en Oaxaca. *Madera y Bosques* 20(2):33-48.

Madera y **Bosques** vol. **20**, núm. **2 : 49-58** Verano **2014**



Evaluación de **dos especies de selva seca** en gradientes ambientales en Michoacán, México

Evaluation of two species from the dry rain forest in environmental gradients in Michoacán, México

Adriana Corona-Mora[1], Nahúm M. Sánchez-Vargas[1] y Roberto Lindig-Cisneros[2*]

1 Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México.

2 Laboratorio de Ecología de Restauración. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Michoacán, México.

* Autor para correspondencia: rlindig@cieco.unam.mx

Resumen

Los cambios generados por el ser humano en el clima, tanto a nivel regional como local, alteran las condiciones en las cuales las plantas pueden establecerse. Para el manejo de ecosistemas es necesario cuantificar los efectos de estos cambios para planear estrategias de establecimiento de poblaciones viables. Se evaluó la supervivencia y crecimiento de familias de *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia* en un gradiente altitudinal y en dos laderas en la ciudad de Morelia, Michoacán, que sufre el efecto de isla urbana de calor. La supervivencia de *A. plurijuga* varió de forma significativa en función de la altitud sobre el nivel del mar, siendo menor a menor altitud (34% a 2050 msnm), y la altura de las plantas también fue diferente en cuanto a la altitud. Para *Ceiba aesculifolia* no hubo diferencias significativas al finalizar el experimento en cuanto a supervivencia a diferentes altitudes, pero sí entre laderas (noroeste 55%, sur 27%). La variable de crecimiento que mostró diferencias significativas fue el diámetro del tallo tanto entre laderas (NO = 0,7 cm; S = 0,5 cm) como a diferentes altitudes. Los resultados sugieren que se debe considerar el origen de las procedencias de especies arbóreas cuando se desea establecer plantaciones de restauración en sitios en donde las condiciones climáticas han sido alteradas como es el caso de áreas afectadas por el fenómeno de isla urbana de calor o por los efectos esperados por el cambio climático, lo que en zonas montañosas implicaría una transferencia altitudinal hacia arriba.

Palabras clave: calentamiento global, ecotipo, isla de calor urbano, migración asistida, restauración ecológica.

Abstract

Human induced changes in climate, both at local and regional scales alter the conditions for plant establishment. For ecosystem management, it is necessary to quantify the effects of these changes for planning strategies to establish viable plant populations. Survival and growth of provenances of *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia* were evaluated in an altitudinal gradient and in two slopes in the city of Morelia, Michoacán, which suffers the effect of the urban heat island. Survival of *A. plurijuga* varied significantly in response to the altitude above sea level, being lowest at the lowest altitude (34% a 2050 msnm); plant height also varied along the altitudinal gradient. For *Ceiba aesculifolia* plants there were no significant differences in survival at different altitudes but there were between slopes (northwest 55%, south 27%). The growth variable that showed significant differences was stem diameter, both between slopes (NO = 0,7 cm; S = 0,5 cm) as among altitudes. These results suggest that it is necessary to take into consideration the provenance of tree species when plantations for ecological restoration are planned in areas where climatic conditions have been altered, as is the case if sites under the influence of urban heat islands or the foreseen effects of climate change. In mountain areas, this implies an altitudinal migration uphill.

Key words: global warming, ecotype, urban heat island, assisted migration, ecological restoration.

Introducción

A lo largo de su historia, el ser humano ha causado diversas transformaciones en el medio ambiente, mismas que se han acentuado desde el inicio de la revolución industrial. Entre ellas destacan las alteraciones al clima, tanto a nivel local como regional y global; que a su vez han causado alteraciones en la distribución y abundancia de las especies (Chapin *et al.*, 2000; Walther *et al.*, 2002; Parmesan y Yohe, 2003; Root *et al.*, 2003; Delgado y Suárez-Duque, 2009). Desde una perspectiva de manejo de ecosistemas, si a las alteraciones causadas en el pasado a los ecosistemas se suman las consecuencias esperadas por el cambio climático (Rehfeld *et al.* 2012), se presenta un gran reto al que no escapa la restauración ecológica, que es una estrategia de manejo que busca revertir, al menos parcialmente, los daños causados a los ecosistemas (Gálvez, 2002).

De particular interés para la restauración ecológica debería ser considerar los cambios esperados en la distribución de las especies vegetales como consecuencia del cambio climático, que pueden ocasionar una extensiva reorganización de la biota (Kurtner y Morse 1996; Tchebakova *et al.,* 2005; Aitken *et al.,* 2008) y, por lo tanto, alterar los criterios usados habitualmente para establecer las metas de proyectos de restauración, que consisten en guiarse por las condiciones que el sitio presentaba en el pasado o las que presenta un sitio contemporáneo de referencia (condiciones que, dependiendo de con qué fines se lleve a cabo la restauración, pueden o no incluir la dinámica natural del ecosistema en cuestión).

Cuando se presentan cambios en el clima, algunas especies pueden verse afectadas de forma positiva o negativa; las que están adaptadas a climas cálidos, bajo escenarios de calentamiento global, podrían tener la posibilidad de establecerse en sitios que presentaron climas más templados en el pasado, generalmente al norte o a una mayor altitud (Kutner y Morse, 1996) y las que están adaptadas a climas fríos tendrían que migrar en altitud o latitud (Sáenz-Romero *et al.* 2012; Aitken *et al.* 2008; Jump *et al.*, 2009).

Una de las mayores limitaciones para llevar a cabo ensayos de restauración ecológica, considerando los efectos esperados del cambio climático, es el costo de manipular unidades experimentales en condiciones de campo para alterar variables climáticas, como la temperatura y la precipitación, que determinan los niveles de sequía a los que se enfrentan las plantas. Sin embargo, es posible aprovechar modificaciones climáticas de origen antropogénico (mejor documentadas y modeladas), que son el fenómeno conocido como isla de calor urbano (ICU) (Arnfield, 2003; Valle-Díaz *et al.* 2009). La ICU se define como el aumento en la temperatura de las ciudades y de la atmósfera en las zonas periurbanas en un radio de varios kilómetros, en contraste con los alrededores rurales (generalmente de 2 °C a 8 °C), y está relacionada con la extensión de la ciudad; a mayor extensión más contraste térmico (Tereshchenko y Filonov, 2001; Liang y Seagle, 2002). Como consecuencia, cuando existen áreas con vegetación natural dentro de la zona urbana o en la zona periurbana, las plantas están sometidas a condiciones climáticas alteradas causantes de que puedan aparecer nuevos nichos potenciales y desaparecer otros. En estas condiciones, es donde la plasticidad genética de las plantas toma importancia, ya que se espera que las poblaciones con mayor variabilidad genética tengan más posibilidades de persistir en ambientes cambiantes (Pistorale *et al.*, 2008; Martínez-Hernández *et al.*, 2001).

Objetivos

En el presente trabajo se evaluó la supervivencia y crecimiento de familias de dos especies de matorral subtropical (*Ceiba aesculifolia* y *Albizia plurijuga*) en un gradiente altitudinal en el Cerro Punhuato, colindante a la ciudad de Morelia, y que por lo tanto sufre el efecto de la ICU, para determinar el efecto de las alteraciones del clima en el desempeño de especies arbóreas.

De acuerdo con lo ya establecido en cuanto a la plasticidad de las plantas y los efectos esperados de cambios en el clima, se espera que distintas familias de medios hermanos de *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia* tengan un desempeño diferencial a diferentes altitudes sobre el nivel del mar. También, que debido al efecto de la ICU que afecta toda la zona, se detecte un mejor desempeño de las plantas



de las dos especies estudiadas en un intervalo altitudinal mayor a la distribución natural que se ha encontrado para estas especies en la región.

Materiales y métodos

Área de estudio

El Área Natural Protegida Cerro Punhuato (19°42´ y 19°41´ N; 101°08´ y 101°07´ O) está situada al oriente de la ciudad de Morelia, capital de Michoacán, México y presenta una variación altitudinal entre los 1850 msnm y 2300 msnm (Madrigal-Sánchez y Guridi-Gómez, 2002). El área, al ser adyacente a la zona urbana, sufre el efecto de la ICU, el cual se manifiesta en un aumento de la temperatura media de la ciudad de Morelia cercano a los dos grados centígrados (Fig. 1a). Aunque todo el cerro está sometido a la ICU, la ladera noroeste recibe directamente los vientos dominantes que pasan sobre la ciudad durante la época seca del año, por lo que la influencia de este fenómeno es mayor. Lo anterior se puede apreciar en la temperatura media de las unidades experimentales durante el mes más seco del año en que se llevó a cabo el presente trabajo (Fig. 1b), que fue calculada a partir de datos obtenidos con registradores automáticos de temperatura (HOBO H8). En el pasado, la vegetación del cerro estaba dominada por selva seca en las partes más bajas, bosques de encino en la parte media y, de acuerdo con algunas fuentes, pino-encino en la parte más alta (Gómez-Romero *et al.*, 2008), aunque una reconstrucción precisa de la vegetación histórica es difícil por la falta de información. Actualmente, el área se caracteriza por zonas con diferentes estados de conservación que incluyen pequeños remanentes de la vegetación original, incluyendo encinares en las laderas más protegidas y húmedas, y elementos característicos del matorral subtropical en las partes bajas. Rzedowski (1978) propuso esta denominación y que el matorral subtropical se deriva de la degradación de la selva seca.

Colecta de semillas y establecimiento de ensayos

Se seleccionaron dos especies arbóreas del matorral subtropical presentes en la cuenca de Cuitzeo (en donde está

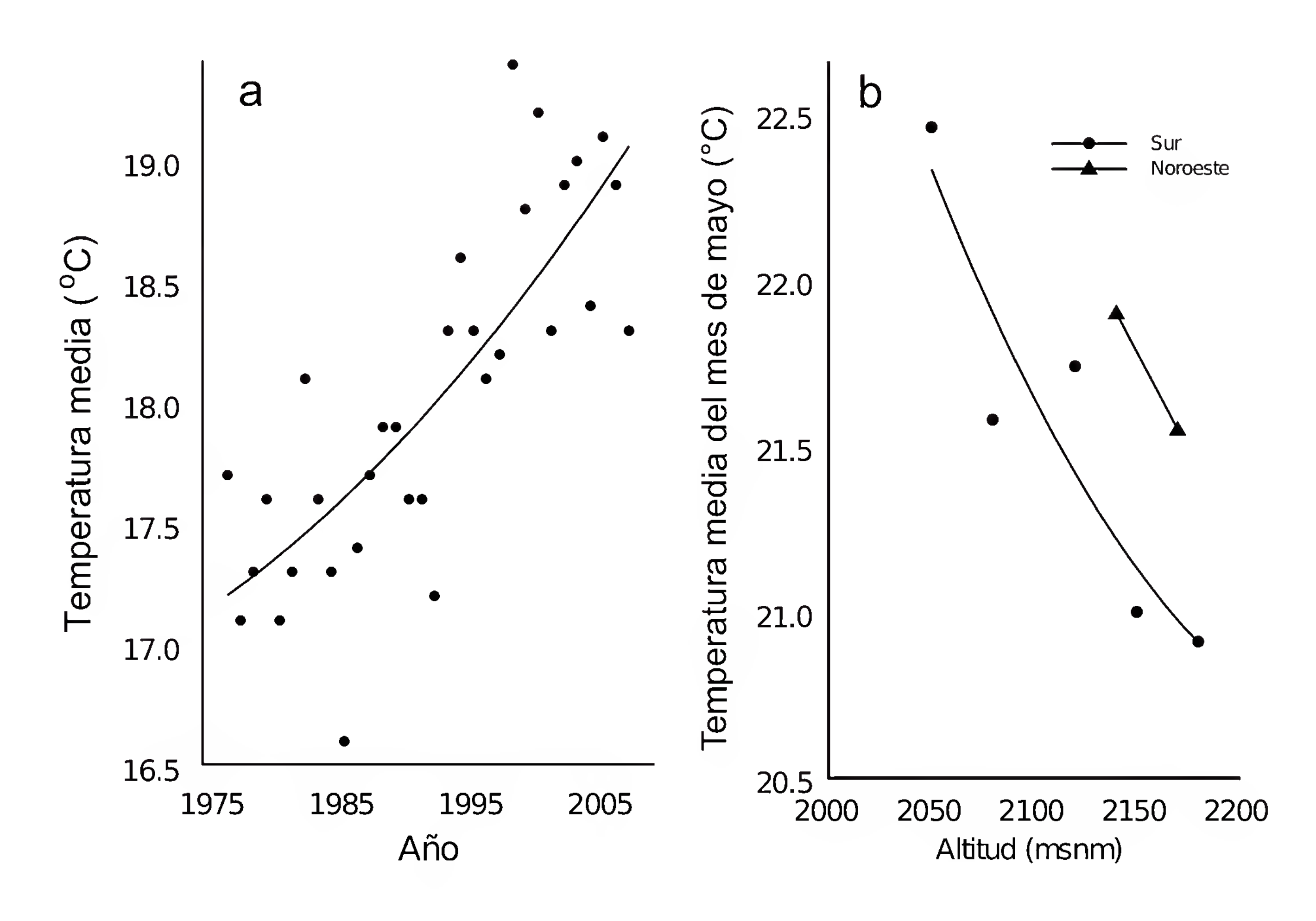


Figura 1. Temperatura media de la Ciudad de Morelia de acuerdo a la estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional en el período 1975-2005 (a). Temperatura media del mes más seco durante el período de estudio en los sitios experimentales de acuerdo a los datos obtenidos con registradores automáticos de temperatura (b).

establecida la ciudad de Morelia). La primera, *Albizia plurijuga* (Standl.) Britton y Rose. pertenece a la familia *Leguminosae*. Es un árbol o arbusto de tronco blanco, que puede alcanzar una altura de hasta 10 m. Se le conoce con el nombre de parotilla o palo blanco. La especie crece en los Valles Superiores del Río Lerma entre los 1600 msnm y los 2000 msnm (Guevara-Escobar *et al.,* 2008). Esta especie actualmente se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT-2010 de especies con alguna categoría de riesgo, como amenazada. La segunda, *Ceiba aesculifolia* (Kunth) Britton & Rose. pertenece a la familia *Bombacaceae,* es un árbol de hasta 15 m de alto (Pennington y Sarukhán, 2005). Esta especie se distribuye en el estado de Michoacán desde el nivel del mar hasta los 1900 msnm, presentándose de manera aislada y poco frecuente hasta los 2200 msnm (Carranza y Blanco-García, 2000).

En las laderas oeste y sur del ANP Cerro Punhuato se estableció un ensayo de especies que combinó la exposición de la ladera, la altura sobre el nivel del mar y el desempeño de familias para las especies antes descritas. Para tal efecto, la colecta de semilla para las dos especies inició en el mes de febrero de 2011. Para *Albizia plurijuga* se colectaron semillas de 10 árboles madre, de una población cercana a la carretera Morelia-Zinapécuaro, en Michoacán, entre las coordenadas 19°53´57,40´´ N y 101°06´56,30´´ O, con una elevación promedio de 1895 msnm. *Ceiba aesculifolia* se colectó de seis árboles madre, de una población adyacente al Área Natural Protegida del "Cerro Punhuato", ubicada en la ciudad de Morelia, Michoacán, entre las coordenadas 19°42´52,71´´ N y 101°07´39,68´´ O a 2020 msnm. El número de árboles colectados para cada especie dependió de la cantidad de árboles en cada población y de las semillas disponibles en los árboles.

Las semillas de las dos especies se sembraron en el mes de febrero de 2011 en una casa de sombra del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco) UNAM *campus* Morelia, bajo un diseño completamente al azar. Las plantas se dejaron crecer por seis meses en la casa de sombra antes del trasplante, pues experiencias previas con *Ceiba aesculifolia* en la misma zona demostraron que se puede obtener alta supervivencia de plantas de esta edad (Valle-Díaz *et al*., 2009). En el mes de julio de 2011, durante el inicio de la temporada de lluvias, se establecieron ensayos en cinco cotas altitudinales (2050, 2080, 2120, 2150 y 2180) msnm para la ladera sur y dos cotas para la ladera noroeste (2140 y 2170) msnm del ANP Cerro del Punhuato. El diseño de cada bloque fue independiente para cada especie. Las unidades experimentales de cada ensayo se establecieron como se describe a continuación. Para *Albizia plurijuga* se colocaron dos individuos de cada familia (10 familias) al azar para cada unidad experimental, dentro de cada bloque hubo tres unidades experimentales y, en cada altitud, hubo cuatro bloques, para un total de 28 bloques. Para *Ceiba aesculifolia* se colocó un individuo de cada familia por unidad experimental (6 familias), para un total de ocho unidades experimentales por bloque y un total de siete bloques. Las variables de respuesta que se evaluaron fueron: supervivencia al año y a los dos años de establecido el ensayo; altura de planta, diámetro a la altura de la base (DAB) y número de hojas al inicio y al final del experimento.

Se llevaron a cabo análisis de varianza para evaluar el efecto de ladera, tomando en cuenta dos sitios de la ladera sur, a 2150 msnm y a 2180 msnm (ladera 1); y los dos sitios de la ladera noroeste, a 2140 msnm y a 2170 msnm (ladera 2), ya que son los sitios que se encontraban en un rango altitudinal similar. Este análisis se hizo con la finalidad de conocer si existe un efecto de la isla de calor urbano, pues la ladera noroeste está directamente expuesta a los vientos que pasan sobre la ciudad, en cambio la ladera sur no sufre de este efecto de forma tan directa. Se ajustaron modelos lineales generalizados, seguidos de pruebas de hipótesis para evaluar el efecto de la altitud, las familias y la interacción entre estos factores, para cada una de las variables ya mencionadas. Para supervivencia se utilizó un modelo estadístico que, para las pruebas de hipótesis, utilizó la distribución binomial. Para número de hojas las pruebas de hipótesis se basaron en la distribución Poisson y para el resto de las variables, para las pruebas de hipótesis, se utilizó la distribución normal. Para los análisis del efecto del gradiente altitudinal solo se incluye-



ron los sitios de la ladera sur, sin el efecto confundido de la exposición de la ladera y el hecho de que no estaban representadas todas las cotas altitudinales en ambas laderas. Cabe mencionar que la ladera sur también sufre la influencia de la ICU, aunque de manera menos intensa que la ladera noroeste dado que esta última recibe directamente los vientos dominantes que pasan sobre la ciudad en la época seca del año. Todos los análisis se llevaron a cabo con el programa estadístico R (R Development Core Team 2013).

Resultados

Albizia plurijuga

El desempeño de las plantas de *A. plurijuga*, fue diferente entre las unidades experimentales. En los extremos, el mayor porcentaje de supervivencia se observó para la ladera noroeste a dos altitudes (2140 y 2170) msnm con una supervivencia de 80% y, en contraste, la menor supervivencia (53%) se observó en la ladera sur a 2120 msnm. Después de dos años de iniciado el ensayo, la supervivencia se redujo poco con respecto al año anterior. Los porcentajes más altos de supervivencia fueron para la ladera noroeste a 2140 msnm y a 2170 msnm, al igual que el año anterior, con 77% y 75% respectivamente; una reducción de 4% en promedio con respecto al año anterior. La mayor mortalidad se presentó en el sitio más bajo de la ladera sur a 2050 msnm con una supervivencia de 34%. Las diferencias fueron significativas para altura sobre el nivel del mar (Fig. 2a; χ^2 = 28,94; g.l. = 1; P < 0,0001) y entre familias (Fig. 2b; χ^2 = 27,67; g.l. = 9; P < 0,001); la interacción no tuvo un efecto significativo.

En cuanto a las variables de crecimiento, considerando las unidades experimentales de la ladera sur, al finalizar el experimento para los individuos de *A. plurijuga*, el diámetro a la altura de la base (DAB) varió sólo en función de la interacción familia por altitud ($F_{(9, 540)}$ = 0,016; P < 0,01629). Entre laderas, comparando las unidades experimentales que se encontraban a alturas similares, no se detectaron diferencias significativas. La altura de las plantas varió en

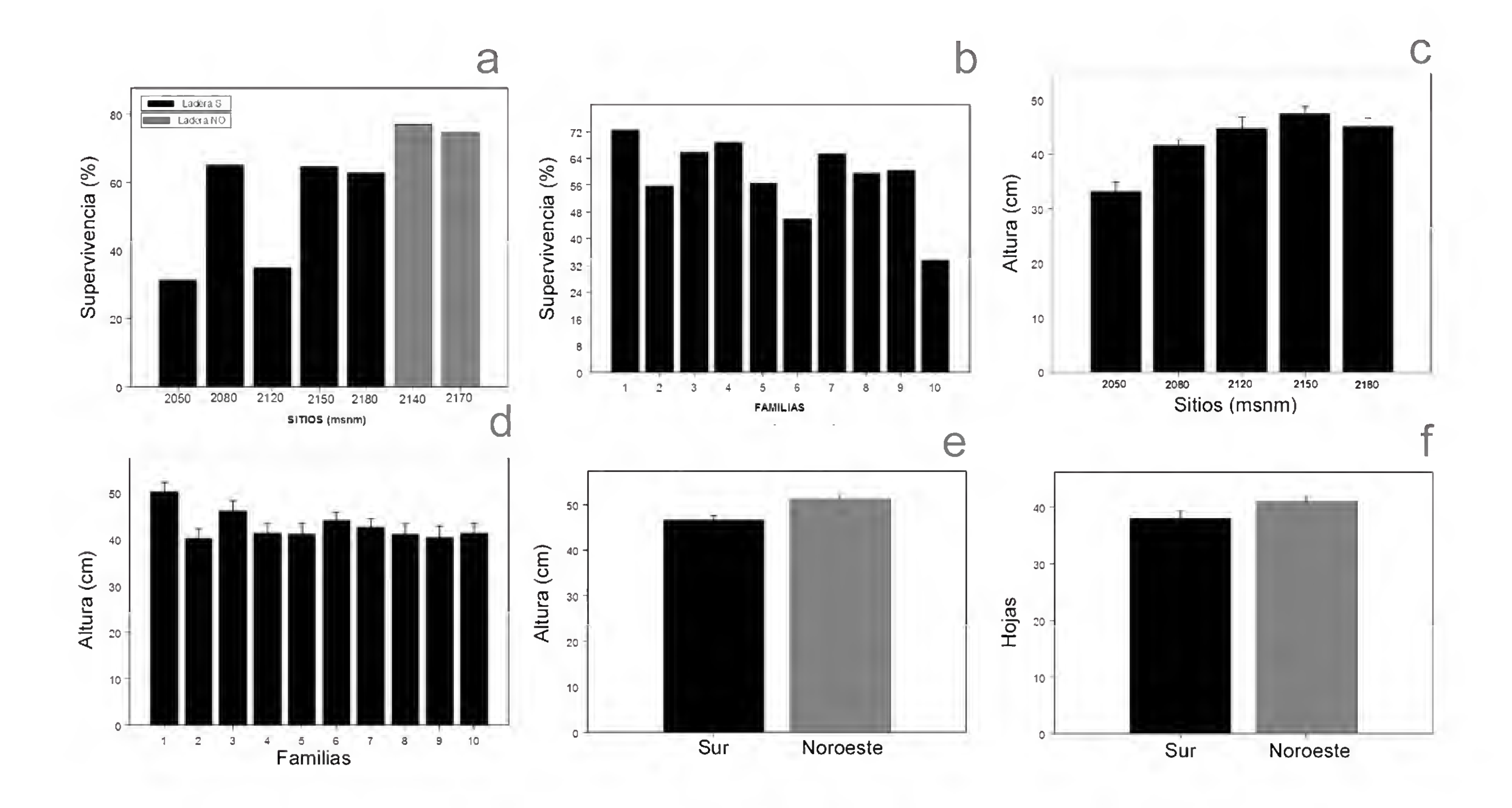


FIGURA 2. Supervivencia de *Albizia plurijuga* a distintas alturas sobre el nivel del mar (a), las barras negras son la ladera sur y las grises la noroeste, y entre familias (b). Altura a diferentes altitudes sobre el nivel del mar (c) y entre familias (d). Altura (e) y el número de hojas por planta (f) entre laderas. Se presentan medias y en su caso errores estándar.

respuesta a la altitud sobre el nivel del mar (Fig. 2c; $F_{(1, 549)} = 34,2$; $P < 0,0001$) y el efecto de las familias fue significativo (Fig. 2d; $F_{(1, 549)} = 2,58$; $P < 0,0063$).

Entre laderas, se detectaron diferencias significativas en la altura de plantas ($F_{(1, 605)} = 11,3$; $P < 0,0001$) siendo la ladera noroeste la que mostró los valores promedio más altos (51 cm) contra 47 cm de la ladera sur (Fig. 2e). Se detectaron diferencias significativas en el número de hojas por planta entre laderas ($F_{(1, 605)} = 3,98$; $P < 0,046$). El número de hojas promedio fue mayor para la ladera noroeste, con 42 hojas, que para la ladera sur en donde las plantas tenían 38 hojas en promedio (Fig. 2f).

Ceiba aesculifolia

La supervivencia de los individuos de *Ceiba aesculifolia* varió a un año de establecido el ensayo, en función de la altitud sobre el nivel del mar, considerando solamente las unidades experimentales de la ladera sur (Fig. 3a), la unidad experimental a 2080 msnm de la ladera sur fue la que tuvo el mayor porcentaje de individuos (95%), y las unidades experimentales con menor supervivencia fueron la situada a 2050 msnm (44%) y la de 2150 msnm (39%), las diferencias fueron significativas ($\chi^2 = 4,46$; g.l. = 1; $P = 0,037$). También se detectaron diferencias entre laderas a un año de plantado el ensayo ($\chi^2 = 17,44$; g.l. = 1; $P < 0,0001$), debido a que en la ladera noroeste se dio un 73% de supervivencia contra 44% en la ladera sur. En ningún caso se detectó un efecto de la pertenencia a las distintas familias.

Para el segundo año, debido a un decremento de la supervivencia en todas las unidades experimentales, las diferencias entre estas a distintas alturas sobre el nivel del mar se perdieron ($\chi^2 = 2,86$; g.l. = 1; $P = 0,208$), pero las diferencias entre laderas se mantuvieron, pues la ladera noroeste presentó 55% de supervivencia contra 27% de la ladera sur ($\chi^2 = 15,85$; g.l. = 1; $P < 0,0001$).

Las plantas de *C. aesculifolia*, a dos años de ser plantadas, difirieron en el diámetro del tallo en función de la altitud sobre el nivel del mar ($F_{(1, 90)} = 18,04$; $P < 0,0001$) y de la familia a la que pertenecen ($F_{(5, 90)} = 2,36$; $P = 0,045$); (Figs. 3b y 3c). Las diferencias entre laderas fueron significativas ($F_{(1, 75)} = 9,26$; $P < 0,001$), siendo nuevamente la ladera noroeste la que presenta los mayores diámetros promedio con valores de 0,7 cm, para el caso de ladera sur el promedio fue de 0,5 cm (Fig. 3d).

En cuanto a la altura de las plantas de esta especie, se detectó un efecto de la altitud sobre el nivel del mar ($F_{(1, 90)} = 4,54$; $P = 0,035$) debido a que las plantas a 2120 msnm alcanzaron la mayor altura (27,1 ± 2,2 cm) y esta media fue estadísticamente diferente a la de las plantas a 2150 y 2180 msnm (17,7 ± 2,3 cm y 15,0 ± 2,3 cm respectivamente), y no hubo efecto de la familia a la que pertenecían las plantas ni de la interacción entre factores explicativos. También se detectaron diferencias en altura para las laderas, ($F_{(1, 75)} = 19,11$; $P < 0,0001$), siendo nuevamente la ladera noroeste la que presentó los valores más altos con un promedio de 26 cm y de 16 cm para la ladera sur (Fig. 3e).

El número promedio de hojas a dos años de establecido el ensayo varió marginalmente en función de la altitud sobre el nivel del mar ($Z = -1,865$; $P = 0,062$). También varió el número de hojas en función de la familia a la que pertenecían las plantas ($\chi^2 = 29,18$; g.l. = 5; $P < 0,0001$). Al comparar entre laderas también se detectaron diferencias significativas ($F_{(1,75)} = 5,08$; $P = 0,027$) porque las plantas de la ladera noroeste tuvieron 12 hojas en promedio y ocho las de la ladera sur (Fig. 3f).

Discusión

Las plantas de *Albizia plurijuga* presentaron mayor altura a mayor altitud sobre el nivel del mar, incluso cuando esta altitud fue considerablemente mayor a los sitios de colecta. De hecho, el crecimiento fue mayor por arriba de la elevación máxima considerada como distribución natural para esta especie, que es menor a los 1800 msnm en la región en donde se encuentra el Cerro del Punhuato (Rzedowky y Rzedowsi, 1987). El sitio más bajo (2080 msnm) fue el sitio con plantas de menor altura, 280 metros por arriba del límite publicado. Las plantas tuvieron un mejor desempeño a elevaciones al menos 400 m por arriba de la distribución natural publicada. El efecto altitudinal es claro para esta especie, como se vio para la ladera sur,



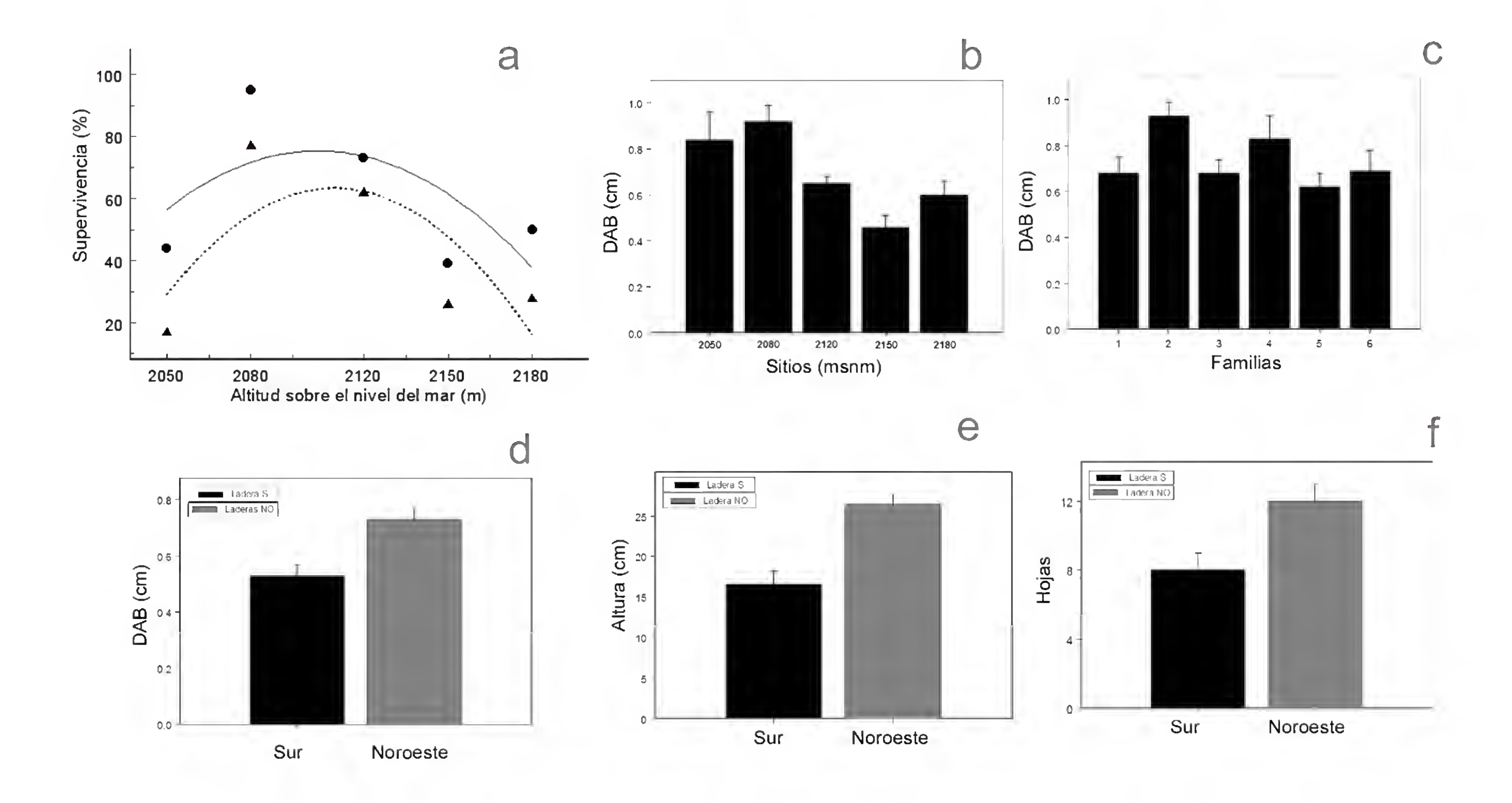


FIGURA 3. Supervivencia de *Ceiba aesculifolia* a lo largo del gradiente altitudinal para la ladera sur (a). Las curva corresponden a un ajuste binomial Los puntos son los datos para el primer año de evaluación y los triángulos para el segundo. Diámetro a diferentes altitudes (b) de la ladera sur, entre familias (c) y entre laderas (d). Altura (e) y número de hojas (f) entre laderas. Se presentan medias y en su caso errores estándar.

pero incluso las plantas de la ladera noroeste tuvieron buen desempeño a pesar de que los sitios se encuentran directamente orientados hacia la ciudad y, por lo tanto, reciben el efecto de la isla de calor urbano de manera más directa. Lo anterior implica que, a menos que se reduzca la intensidad de la isla de calor urbano de la Ciudad de Morelia reduciendo la proporción de superficies obscuras que generan calor, por medio de la creación de áreas verdes y techos verdes (Berard*i et a*l., 2014; Skoulik*a et* al., 2014) al incrementar el área de superficies reflejantes (Alchapa*r et a*l., 2014, Santamouris, 2013), ambas medidas costosas y complejas, en el área de estudio el efecto de la isla de calor urbano podría ser compensado plantando cada especie a mayor altitud de la que históricamente presenta o presentaba.

En el caso de *Ceiba aesculifolia,* no se detectaron diferencias entre laderas; sin embargo, dentro de las cotas altitudinales ensayadas en la ladera sur, las plantas más altas estuvieron a 2120 msnm. Esto apoya la hipótesis de que el efecto de la isla de calor urbano desplaza el hábitat de las especies altitudinalmente hacia arriba (Vitt *et al.*, 2009). *Ceiba aesculifolia* es una especie que creció poco a lo largo de los 14 meses de evaluación, en comparación a *A. plurijuga*, se observó que esta especie destina la mayor parte de los recursos para crecimiento del tallo. De hecho esta especie, cuando es joven, puede perder totalmente la parte aérea mientras que mantiene viva la parte radicular y la proporción más baja del tallo y, cuando las condiciones ambientales mejoran, vuelve a desarrollar la parte aérea (Sánchez-Sánchez y Hernández-Zepeda, 2004). Por lo que no es sorprendente que para el diámetro (medido en la base de la planta) el análisis presentó diferencias significativas.

No se detectaron diferencias entre familias para las variables evaluadas y esto puede deberse a que el número de familias para esta especie fue muy bajo, debido a los bajos porcentajes de germinación y semillas viables en las colectas de campo.

La mortalidad para *C. aesculifolia* fue mayor que para *A. plurijuga* y esta se presentó de manera gradual a lo largo de las evaluaciones, a excepción del sitio a 2120 msnm de la ladera sur, el cual tuvo una caída abrupta en el mes de octubre y después se mantuvo estable a lo largo del experimento. Los sitios más altos de la ladera sur son los que presentaron el porcentaje más alto de mortalidad (65%), mientras que los sitios de la ladera noroeste son los que tienen el más alto porcentaje de supervivencia junto con el sito de la ladera sur a 2080 msnm. Los porcentajes de supervivencia alcanzados en este estudio son menores a los observados en otras condiciones. Para *C. aesculifolia* el intervalo observado en este estudio fue de 27% a 55%, mientras que en potreros abandonados en selvas secas de Veracruz fue de 82% a 90% (Alvarez-Aquino y Williams-Linera 2012)

Conclusiones

Para *A. plurijuga* la altitud sobre el nivel del mar fue factor determinante; a mayor elevación mejor desempeño en caracteres de crecimiento como altura, diámetro y hojas. Por lo tanto y tomando en cuenta que también el efecto de las familias fue significativo, se sugiere considerar el origen de las procedencias de esta especie y establecer plantaciones de restauración a mayor altitud que la distribución natural de la especie, cuando las condiciones climáticas han sido alteradas como es el caso de la isla urbana de calor o de los efectos esperados por el cambio climático. Las condiciones ambientales del micrositio y la forma de vida de esta especie podrían estar determinando la supervivencia de la misma, ya que los medios en los que se encuentra determinan si el recurso es destinado para sobrevivir o para crecer, más que la influencia genética, sin embargo también se cree que es necesario aumentar el número de familias colectadas para ensayos futuros.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo otorgado por la DGAPA de la UNAM a través del proyecto PAPIIT IN202112, ACM por la beca de maestría otorgada por el Conacyt, a las autoridades del ANP Cerro del Punhuato, y a dos revisores anónimos cuyos comentarios mejoraron sustancialmente el manuscrito.

Referencias

Aitken, S.N., S. Yeaman, J.A. Hollyday, T. Wang., y S. Curtis-McLane. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1(1):95-111.

Alchapar, N.L., E.N. Correa, M.A. Canton. 2014. Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. *Energy and Buildings* 69:22-32.

Alvarez-Aquino, C. y G. Williams-Linera. 2012. Seedling survival and growth of tree species: site conditions and seasonality in tropical dry forest restoration. *Botanical Sciences* 90(3):341-351.

Arnfield, J.A. 2003. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology* 23(1):1-26.

Berardi, U., A. Ghaffarian-Hoseini y A. GhaffarianHoseini 2014. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy* 115:411-28.

Carranza-González, E. y A. Blanco-García. 2000. Bombacaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes 90:1-16.

Chapin, S.F., S.E. Zavaleta, T.V. Eviner, L.R. Naylor, M.P. Vitousek, L.H. Reynolds, U.D. Hooper, S. Lavorel, E.O. Sala, E.S. Hobbie, S.M. Mack, y S. Día. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405, 234-242.

Delgado, T. y D. Suárez-Duque. 2009. Efectos del cambio climático en la diversidad vegetal del corredor de conservación comunitaria reserva ecológica El Ángel - Bosque Protector Golondrinas en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada* 8(1-2): 27-36.

Gálvez, J. 2002. La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Revisión Bibliográfica, Serie de Documentos Técnicos No. 8.

Gómez-Romero, M., A. Blanco-García, E. Aureoles-Celso, M.C. Marín-Togo y R. Lindig-Cisneros. 2008. Programa de manejo del área natural Protegida “Cerro Punhuato”. Morelia, Mich. Mex. 51 p.



Gómez-Romero, M., A. Blanco-García, E. Aureoles-Celso, M.A. Marín, y R. Lindig-Cisneros. 2008. Programa de manejo del área natural protegida "Cerro Punhuato". Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente.

Guevara-Escobar, A., E. González-Sosa, H. Suzán-Azpiri, G. Malda-Barrera, M. Martínez y Díaz, M. Gómez-Sánchez, L. Hernandez-Sandoval, Y. Pantoja-Hernández y D. Olvera-Valerio. 2008. Distribución potencial de algunas leguminosas arbustivas en el altiplano central de México. *Agrociencia* 42:703-716

Jump, A.S., C. Mátyás y J. Peñuelas. 2009. The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology and Evolution* 24(12):694-701.

Kurtner, L.S. y L.E. Morse. 1996. Reintroduction in a changing climate. *In*: D.A. Falk C.I. Millard y M. Olwell, eds. Restoring diversity: strategies for reintroduction of endangered plants. Island Press. 505 pp.

Liang, S.Y. y S.W. Seagle. 2002. Browsing and microhabitat effects on riparian forest woody seedling demography. *Ecology* 83:212-227.

Madrigal-Sanchez, X. y L. I. Guridi-Gómez. 2002. Los árboles silvestres del municipio de Morelia, Michoacán. México. *Ciencia Nicolaita* 33:29-58.

Martínez Hernández, H.C., H.C. Ramírez, J.J. Vargas y J. López-Upton. 2001. Variación genética en plántulas de *Eucalyptus* spp. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7(1):21-26.

Parmesan, C. y G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37-42

Pennington, T.D. y J. Sarukhán. 2005. Arboles Tropicales de México. Universidad Nacional Autonoma de México. 3ª ed. Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial Ciudad Universitaria. México, D.F. 523 p.

Pistorale, M.S., L.A. Abbott y A. Andrés. 2008. Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado, Thynopirumponticum. *Ciencia e Investigaciones Agrícolas* 35(3):259-264.

R Development Core Team. 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. URL: http://www.R-project.org.

Rehfeld, G.E., N.L. Crookston, C. Sáenz-Romero y M.E. Campbell. 2012. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications* 22(1):119–141.

Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig y J.A. Pounds. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57-60.

Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski. 1987. El Bosque tropical caducifolio de la Región Mexicana del Bajío. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. p:12-20.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. p:189-204.

Saenz-Romero, C., A. Martinez-Palacios, J.M. Gomez-Sierra, N. Perez-Nasser y N.M. Sanchez-Vargas. 2012. Estimated decoupling of *Agave cupreata* populations to their suitable habitat due to climate change. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18:291-301.

Sánchez-Sánchez, O. y C. Hernández-Zepeda. 2004. Estudio de plántulas de la familia Bombacaceae en Quintana Roo, México. *Foresta Veracruzana* 6:1-6.

Sanchez, X. y L.I. Guridi-Gómez. 2002. Los árboles silvestres del municipio de Morelia, Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita* 33:29-58.

Santamouris, M. 2013. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island-A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26:224-240.

Skoulika, F., M. Santamouris, D. Kolokotsa y N. Boemi. 2014. On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece. *Landscape and Urban Planning* 123:73-86.

Tchebakova, N.M., G. E. Rehfeld, y E.I. Parfenova. 2005. Impacts of climate change on the distribution of *Larix* spp. and Pinussylvestris and their climatypes in Siberia. *Migration and Adaptation Strategies for Global Change* 11:861-882

Tereshchenko, I.E., y A.E. Filonov. 2001. Air temperature fluctuations in Guadalajara, México, from 1962 to 1994 in relation to urban growth. *International Journal of Climatology* 21:483-494.

Valle-Díaz, O, A. Blanco-García, C. Bonfil, H. Paz y R. Lindig-Cisneros. 2009. Altitudinal range shift detected through seedling survival of *Ceiba aesculifolia* in an area under the influence of an urban heat island. *Forest Ecology and Management* 258:1511-1515.

Vitt, P., K. Havens, A.T. Kramer, D. Sollenberger y E. Yates. 2009. Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes. *Biological conservation* 143:18-27.

Walther, G.R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesank, T.J.C. Beebee, J.M. Fromentin, O. Ove Hoegh-Guldbergi y F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389-395.

Manuscrito recibido el 26 de febrero de 2014.
Aceptado el 14 de abril de 2014.

Este documento se debe citar como:
Corona-Mora, A., N.M. Sánchez-Vargas y R. Lindig-Cisneros. 2014. Ensayo de dos especies de selva seca en gradientes ambientales en Michoacán, México. *Madera y Bosques* 20(2):49-58.

Madera y **Bosques** vol. **20**, núm. **2 : 59-70** Verano **2014**



Análisis estadístico de los nombres comerciales de maderas en un país (España)

Statistical analysis of the commercial names of the woods in a country (Spain)

Antonio Villasante[1*], Santiago Vignote[2] y Ricardo Blanco[1]

1 Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Universidad de Lleida. España.

2 Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. España

* Autor para correspondencia avillasante@eagrof.udl.cat

Resumen

La denominación comercial de las maderas es un tema extensamente tratado desde hace bastantes años. Sin embargo, la mayoría de los trabajos se limitan a recopilar nombres vulgares de una forma ordenada y más o menos extensa. En este estudio se examinan las denominaciones vulgares mediante la utilización de la estadística, fundamentalmente no paramétrica debido al carácter nominal de la variable. La metodología empleada permite detectar los nombres comerciales más utilizados mediante la moda y caracterizar la dispersión que presentan los alternativos a través del Índice de Variación Cualitativa y el Índice Bimodal (definido en este estudio). También se analiza el efecto que puede provocar la región geográfica o el tamaño de la empresa mediante la prueba exacta para tablas r x c y la regresión logística. Los resultados indican claras convergencias en los nombres vulgares de las frondosas europeas utilizadas en España. En el resto de maderas aparecen dispersiones asociadas principalmente a solo dos nombres (maderas tropicales) o a un número mayor (coníferas y frondosas americanas no tropicales). Respecto a las posibles alteraciones debidas al origen geográfico de la denominación comercial, solo una de las 92 maderas analizadas presenta valores significativos. El tamaño de la empresa no influye en el tipo de nombres comerciales que utiliza. Para el estudio del grado de seguimiento de la Normativa EN se utilizó el Índice de concordancia Kappa. Es destacable que la sociedad emplea escasamente las denominaciones recomendadas en esta Norma.

Palabras clave: índice de concordancia Kappa, nombre científico, nombre común, nomenclatura de la madera, prueba exacta, regresión logística.

Abstract

The subject of commercial naming for lumber has been extensively studied for a considerable time; however, none of these studies has so far used rigorous scientific procedures. Most of them have been simply a compilation of a number –greater or smaller– of common names, listed in order. This study uses statistical techniques to analyse common names. The methodology employed detects the most commonly used commercial names by means of the mode, and characterizes the dispersion presented by the alternatives through the Index of Qualitative Variation and the Bimodality Index (defined in this study). We also analyze the possible effect caused by the geographic region and the size of the company using the Exact Test for tables r x c and Logistical Regression. The results indicate a clear convergence in common names for European hardwoods. The rest of the lumbers have dispersions associated principally to only two names (tropical woods) or to a larger number of names (softwoods and non-tropical American hardwoods). Regarding the possible alterations owing to the geographic origin of the commercial name, only one of the 92 woods analysed presents significant values. The size of the lumber company does not have any influence on the type of commercial names it uses. To study the degree of compliance with the EN standard we used the Cohen's Kappa coefficient. It is worth noting that society barely uses the names recommended in the standard.

Key words: Cohen's Kappa coefficient, scientific name, common name, wood nomenclature, Exact Test, Logistic Regression.

Introducción

Las denominaciones vulgares de las maderas son un tema complejo que dificulta la claridad en las relaciones comerciales de este producto. En algunos casos, diferentes maderas se engloban bajo un único nombre. Esto ocurre con la denominación "cedro" aplicada en España a las especies de los géneros de coníferas *Cedrus*, *Thuja*, *Calocedrus*, *Chamaecyparis*, etc., además de los de las frondosas *Cedrela* y *Guarea*. También nos podemos encontrar el caso contrario, como ocurre con la especie africana *Erythrophleum ivorense* A.Chev., comercializada con los nombres "elondo", "elon", "bolondo", "bolongo", "tali" y "missanda". Este problema podría solucionarse si se empleasen los nombres científicos. Desgraciadamente, existe una gran inercia por parte de empresas comercializadoras y usuarios finales que impide esta sustitución a corto o medio plazo.

La primera publicación que trata en profundidad el tema de los nombres vulgares de las maderas es *Buch der Holznamen* (Meyer, 1936). En ella, el autor ya indica la conveniencia de establecer acuerdos internacionales encaminados a unificar las nomenclaturas.

La complejidad en la utilización de nombres vulgares aumenta cuando nos referimos a maderas tropicales. Ello es debido a que se pueden utilizar como nombres comerciales las denominaciones en diferentes lenguas vernáculas (procedentes de diversas zonas de África, Asia o América), nombres científicos o nombres adaptados al país importador. Los principales intentos europeos encaminados a la normalización de la nomenclatura de estas maderas son debidas a la *Association Technique Internationale des Bois Tropicaux* (ATIBT, 1965 y 1986; Dahms, 1990; Chichignoud *et al*., 1990). Diversos organismos de distintos países también han realizado esfuerzos encaminados al establecimiento de nombres vulgares normalizados, como es el caso del Centre Technique Forestier Tropical (Normand, 1950-1960; Durand, 1985), de la Organisation for European Economic Co-operation (1951) y del Centre de Cooperátion Internacional en Recherche Agronomique pour le Développement (1989, 1990 y 1993).

En la actualidad, dado el importante desarrollo de la información transmitida a través de internet, se han elaborado diferentes bases de datos con información acerca de nombres vulgares de maderas. El listado más completo es el incluido en la página web del *Forest Products Laboratory* de Madison en Estados Unidos (Miller e Ilic). Otros proyectos de importancia son los desarrollados por el United States Departament of Agriculture, por el Missouri Botanical Garden, por la University of Melbourne (Porcher) y por la Metadata African Organization, entre otros.

Los intentos más serios destinados al establecimiento de acuerdos en los nombres vulgares de las maderas han sido los realizados por los organismos de normalización. Uno de los primeros, fue la norma British Standard 589:1935 (este documento sufrió posteriores ampliaciones y correcciones en los años 1939, 1946, 1955, 1974 y 1991). En el caso de España, la normativa comenzó con la norma UNE 56-501-1957, ampliada posteriormente con las normas UNE 56-502-1972, UNE 56-504-1973 y UNE 56-501-1994. En el año 2004, fue publicada la norma europea de nomenclatura de maderas actualmente vigente EN13556:2004 que unifica las normativas nacionales de los países miembros de la Comunidad Europea (aplicada en España con la norma UNE EN13556:2004).

A pesar de la elevada cantidad de documentos examinados, en ningún caso se ha detectado una metodología científica encaminada a la detección de la distribución de los nombres vulgares o a la elección de los nombres representativos.

Objetivos

Establecer los nombres vulgares de las maderas que realmente se utilizan en un país, en este caso España. Detectar la denominación más habitual, definiendo y caracterizando la dispersión de las restantes.

Determinar las posibles alteraciones de los nombres vulgares de las maderas más utilizados, en función de la región o el tamaño de la empresa.

Cuantificar la coincidencia existente entre los nombres comerciales de las maderas recomendados por la Normativa oficial UNE-EN 13556:2004 y los realmente empleados por la sociedad.



Materiales y métodos

Para determinar la población sobre la que se debía realizar la encuesta, se analizó la transmisión de la información de los nombres vulgares a través del proceso productivo. La materia prima se obtiene de las zonas forestales mediante las empresas de aprovechamiento, se traslada mediante empresas de transporte o importación (para maderas procedentes del mercado exterior), se procesa en empresas de primera transformación (fundamentalmente aserraderos), se distribuye en empresas almacenistas y a través de empresas de segunda transformación llega a los usuarios finales. Parte de la madera producida se escapa a este esquema general, pero representa en España pequeñas cantidades de producto (como ocurre con la madera de tableros contrachapados o alistonados) o se destinan a procesos muy industrializados donde los nombres de las maderas dejan de tener importancia para el usuario final (tableros de trituración). El grupo elegido ha sido el de los almacenistas de madera por dos motivos fundamentales: el pequeño tamaño de la población facilita la ejecución de la encuesta y la cercanía del sector al consumidor final limita la "contaminación" de los nombres vulgares.

Las empresas almacenistas se han localizado mediante la *Asociación Española de Importadores de Madera* (AEIM, 2003), que engloba a la mayoría del sector. Para una población total de 121 empresas, un error de 20% y un intervalo de confianza de 95%, se estimó el tamaño de muestra en 21 empresas. A pesar de ello, se consideró conveniente aumentar este tamaño para, entre otros requisitos, formar un conjunto de estratos de regiones (en España se denominan oficialmente *Comunidades Autónomas*) con lenguas cooficiales relacionadas, siendo el número de empresas en cada uno de ellos equivalente. La muestra definitiva está formada por 42 empresas en total, agrupadas en 7 estratos de seis elementos cada uno y queda reflejada en la figura 1. La elección de cada empresa se realizó de forma aleatoria y solo era sustituida (por otra elegida de la misma forma) si comunicaba de forma expresa su rechazo a participar en este trabajo. Finalmente, a pesar de los esfuerzos y el seguimiento telefónico personal, se produjeron 3 sustituciones.

Para evitar el mayor número posible de abandonos, se elaboró un estadillo de tipo semicerrado, que contenía un listado ordenado con los 206 nombres vulgares de las maderas más habituales (detectados en bibliografía forestal e industrial, folletos comerciales, listados de asociaciones empresariales, etc.) referentes a 98 nombres científicos. Se ofrecía la posibilidad de añadir nombres vulgares diferentes, pero esta alternativa solo fue empleada en 12 ocasiones (de 1870 en total), lo cual indica un diseño adecuado del listado original.

De los resultados obtenidos en las encuestas fueron eliminadas 6 maderas debido a la escasa representación obtenida (solo comercializadas por 3 empresas o menos). Para las 92 maderas restantes se calcularon los valores de las modas ponderadas y los índices de dispersión. El peso de cada una de las respuestas de las empresas se ponderó en función del tamaño de la empresa (4 niveles según los metros cúbicos de madera facturados al año) y de la importancia del sector de la madera en cada estrato (obtenido a partir de los datos del *Instituto Nacional de Estadística* de España, 2005). El coeficiente utilizado para expresar la ponderación se recoge a continuación:

$$K_{ij} = P_{ccaa_j} \cdot \frac{nivel_i}{\sum_{ccaa_j} nivel_i}$$

donde:

K_{ij} : Coeficiente de ponderación global de las respuestas de la empresa *i*, situada en la comunidad autónoma *j*.

P_{ccaa_j} : Porcentaje de producción de la comunidad autónoma *j* respecto al total nacional.

$nivel_i$: Factor de tamaño de la empresa, obtenido a partir de la facturación.

$\sum_{ccaa_j} nivel_i$: Suma de los valores $nivel_i$ de las empresas encuestadas en la comunidad autónoma *j*.

Dado el carácter nominal de los datos, el índice de tendencia central utilizado ha sido la moda. Su frecuencia relativa se expresa en forma ponderada de acuerdo con la anterior expresión para reflejar el peso de la producción de la empresa y del estrato geográfico de cada encuesta recibida. En el caso de la dispersión, se ha planteado la

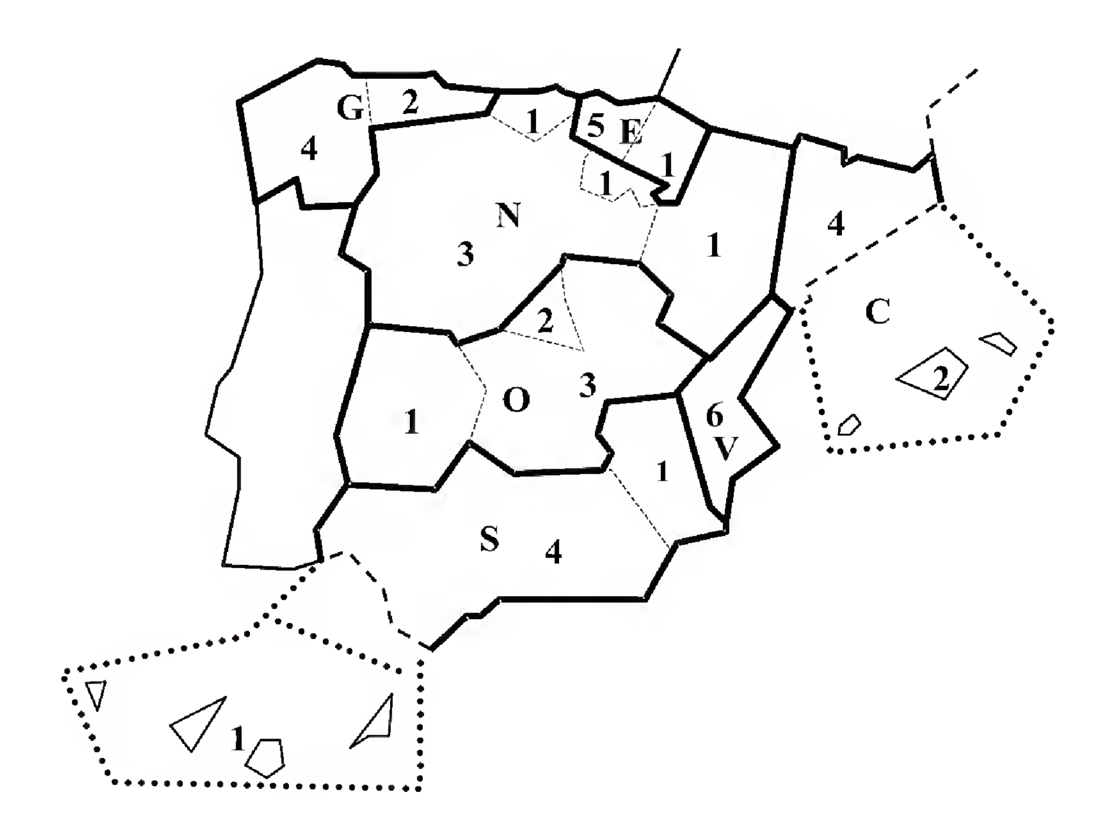


Figura 1. Distribución geográfica de las empresas encuestadas.

La línea gruesa indica el límite entre los 7 estratos (que se identifican mediante letras) escogidos para fines de obtención de la muestra. La línea delgada de trazos muestra las fronteras entre diferentes regiones (Comunidades Autónomas). El número indica la cantidad de empresas encuestadas en cada una.

utilización de diferentes índices procedentes de distintos ámbitos de la investigación:

- Estudios de riqueza ecológica: Índice de Shannon-Weaver (Shannon y Weaver, 1949), Índice de Diversidad de Simpson (Simpson, 1949) e Índice de Margalef (Margalef, 1958).
- Estudios sociológicos: Índice de Variación Cualitativa (Agresti y Agresti, 1977).

Para detectar posibles alteraciones de los nombres vulgares debidos al origen geográfico se aplicó la Prueba Exacta para tablas r x c, equivalente a la Prueba exacta de Fisher empleada en tablas 2 x 2. Para este análisis, se elaboró para cada madera analizada una tabla de 7 filas (estratos geográficos) y 2 columnas (número de respuestas dentro del estrato geográfico coincidentes y no coincidentes con la moda ponderada).

También se utilizó la regresión logística para dos variables independientes, aplicando las variables explicativas *zona geográfica* (de tipo nominal, referida al estrato geográfico estudiado) y *nivel* (de tipo ordinal, referida al tamaño de la empresa). Se consideró la variable dicotómica *moda* como dependiente (valor 1 para respuesta coincidente con la moda, valor 0 para respuesta no coincidente). Debido a las exigencias de tamaño de muestra, este método solo pudo ser empleado por grupos de maderas (coníferas, frondosas tropicales y frondosas americanas no tropicales). No se aplicó a frondosas nacionales debido a la escasa dispersión que presentan. La expresión de la regresión logística se recoge a continuación.

$$p = \frac{1}{1 + e^{-\alpha - \beta_1 \cdot (zonageográfica) - \beta_2 \cdot (nivel)}}$$

donde:

p : Probabilidad de que la variable de análisis presente el valor modal

zonageográfica : Variable nominal referente a la situación geográfica de la empresa

nivel : Variable ordinal referente al tamaño de la empresa

α , b_1, b_2 : Parámetros del modelo logístico

Se descartaron otras pruebas estadísticas, debido fundamentalmente a las exigencias de tamaño de muestra y a las necesidades de continuidad de la variable, como ocurre en los casos de la Prueba de la mediana resuelta mediante la Prueba de Fisher y la Prueba de Wilcoxon de suma de rangos para dos muestras independientes.

El establecimiento del grado de acuerdo de nombres vulgares entre la Normativa oficial europea EN y los nombres recogidos en las encuestas se basó en el Índice de concordancia Kappa de Cohen. Se ensayaron otros índices de concordancia de variable nominal, pero todos ellos generaron resultados equivalentes (Proporción de acuerdos observados, Coeficiente Phi, *Odds ratio* o relación de momios y Q de Yule).

Resultados

En la tabla 1 se recoge un ejemplo de los valores obtenidos para las diez primeras maderas. En 54,3% de los casos, todas las empresas coincidían en un único nombre vulgar; en el resto, se presentaban diferentes denominaciones alternativas. Solo en 13 casos de los 92 estudiados, un

segundo nombre se utiliza en un porcentaje superior a 30% del primero.

Para facilitar el análisis de los valores obtenidos, se elaboraron un conjunto de gráficas de discriminación en los que se representan en abscisas el valor de la frecuencia de la moda y en ordenadas los índices de dispersión. En la figura 2 se recogen los resultados que ofrece el Índice de Shannon-Weaver. El gráfica obtenida utilizando el Índice de diversidad de Simpson, utilizado también en estudios ecológicos, resultó similar. En la figura 3 la discriminación se realiza gracias al Índice de Variación Cualitativa, empleado en sociología.

El análisis de las alteraciones nomenclaturales debidas al origen geográfico mediante la Prueba exacta para tablas r x c indica la influencia escasa. En la tabla 2 quedan recogidos los valores obtenidos para las 18 maderas que presentan frecuencias relativas de la moda menores a 0,75.

La regresión logística (Tabla 3) confirma los resultados obtenidos mediante la Prueba exacta, obteniéndose una escasa relación entre el nombre vulgar y el origen geográfico. En referencia al tamaño de la empresa, en ninguna de las combinaciones estudiadas se han obtenido valores significativos.

El Índice de concordancia Kappa obtenido entre los nombres vulgares propuestos por la norma UNE-EN 13556 y los nombres obtenidos de las encuestas realizadas a las empresas fue 0,458 (con un intervalo de confianza para un nivel de significación de 5% de 0,324 a 0,592).

Discusión

El comportamiento de la dispersión es diferente en función del tipo de índice utilizado:

1. Los índices de tipo ecológico valoran fundamentalmente el mayor número de nombres vulgares alternativos (variable equivalente a número de especies en estudios de ecología). El Índice de Shannon-Weaver (Fig. 2) y el Índice de diversidad de Simpson presentan

Tabla 1. Valores de las frecuencias relativas de las modas y los índices de dispersión (Índice de Shannon-Weaver, Índice de diversidad de Simpson, Índice de Margalef e Índice de Variación Cualitativa) de las 10 primeras maderas.

Nombre científico	*moda*	*% f moda*	*Shannon*	*Simpson*	*Margalef*	*IVC*
Abies alba Mill.	Abeto	100	0	0	0	
Acer pseudoplatanus L., *A, platanoides* L.	Sicomoro	69,6	0,267	0,42	0,39	0,847
Acer rubrum L., *A. saccharinum* L., *A. macrophyllum* Pursh.	Maple blando	79,7	0,282	0,34	1,02	0,454
Acer saccharum Marshall *y A. saccharum* subsp. *nigrum* (Michx.) Desmarais	Maple duro	74,3	0,392	0,42	1,31	0,525
Afzelia sp.	Doussié	87,8	0,177	0,22	0,64	0,325
Albizia ferruginea (Guill. & Perr.) Benth.	Iatanza	100	0	0	0	
Alnus rubra Bong.	Alder	65,3	0,442	0,53	1,11	0,709
Amburana sp.	Cerejeira	100	0	0	0	
Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze	Pino Paraná	100	0	0	0	
Aucoumea klaineana Pierre	Okume	100	0	0	0	

f moda = Frecuencia relativa de la moda

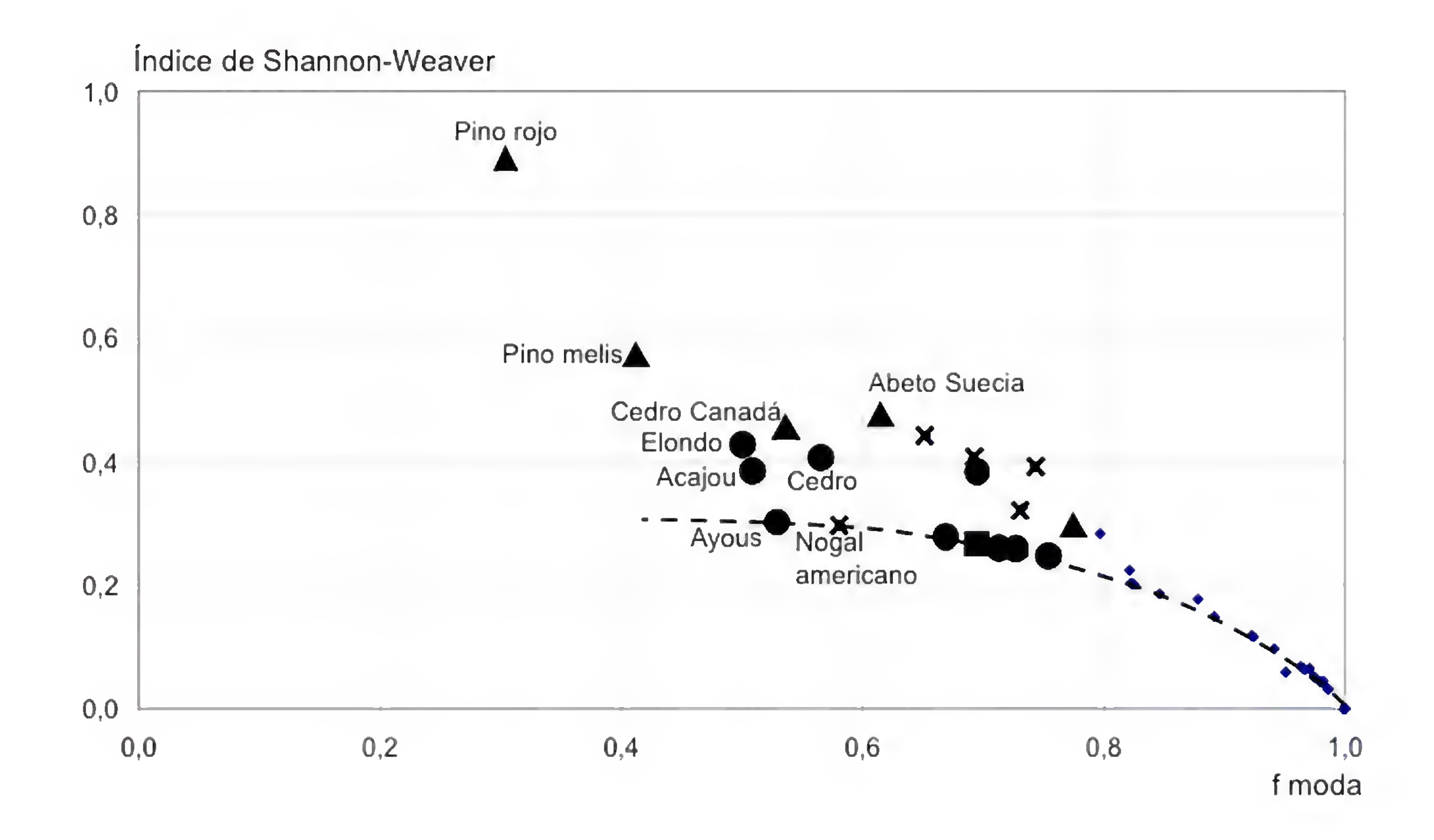


FIGURA 2. Discriminación de acuerdo con el Índice de Shannon-Weaver.

La línea de trazos une las maderas que presentan sólo dos nombres comerciales. Pino rojo = *Pinus sylvestris* L.; Pino melis = *Pinus echinata* Mill., *P. elliottii* Engelm., *P. taeda* L. y *P. palustris* Mill.; Cedro Canadá = *Thuja plicata* D.Don; Elondo = *Erythrophleum* sp.; Acajou = *Khaya* sp.; Ayous = *Triplochiton scleroxylon* K.Schum.; Abeto Suecia = *Picea abies* (L.) H.Karst.; Cedro = *Cedrela* sp.; Nogal americano = *Juglans nigra* L. f
fmoda = frecuencia relativa de la moda en tanto por uno.

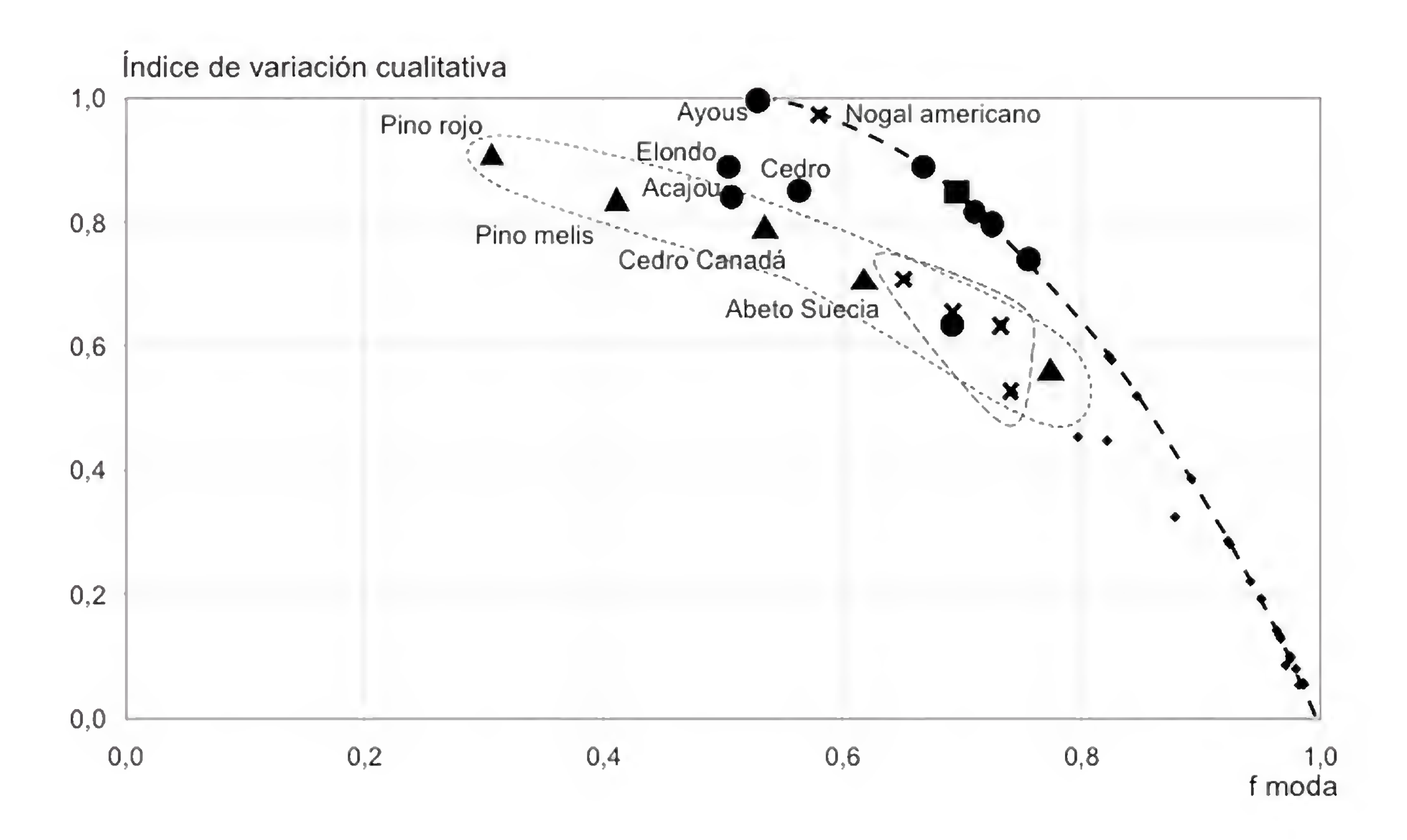


FIGURA 3. Discriminación de acuerdo con el Índice de Variación Cualitativa.

f moda = frecuencia relativa de la moda en tanto por uno.
Ver leyenda de la figura 2 para los nombres científicos de las especies.



TABLA 2. Análisis de los efectos de la zona geográfica mediante la Prueba exacta r x c (para maderas que presentan frecuencias relativas de la moda menores a 75%).

Nombre científico	*moda*	*% f moda*	*n*	*p*
Acer pseudoplatanus L., *A, platanoides* L.	Sicomoro	69,6	19	0,715
Acer saccharum Marshall y *A. saccharum subsp. nigrum* (Michx.) Desmarais	Maple duro	74,3	27	0,307
Alnus rubra Bong.	Alder	65,3	20	0,245
Cedrela sp.	Cedro	56,6	25	0,566
Erythrophleum ivorense A.Chev. y *E. suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan	Elondo	50,3	26	0,118
Guarea sp.	Bossé	72,6	23	0,428
Hallea sp.	Bahía	69,3	21	0,285
Juglans nigra L.	Nogal americano	58,1	19	0,743
Khaya sp.	Acajou	50,8	23	0,856
Liriodendron tulipifera L.	Tulipier	69,2	15	0,095
Lophira alata Banks ex C.F.Gaertn.	Azobé	66,8	12	0,782
Nauclea diderrichii (De Wild.) Merr.	Badi	71,2	16	0,077
Picea abies (L.) H. Karst.	Abeto Suecia	61,7	15	0,313
Pinus echinata Mill., *P. elliotti* Engelm., *P. taeda* L., *P. palustris* Mill.	Pino melis	41,2	26	0,002**
Pinus sylvestris L.	Pino rojo	30,5	13	0,406
Quercus alba L.	Roble blanco americano	73,2	29	0,428
Thuya plicata D.Don	Cedro Canadá	53,7	23	0,847
Triplochiton scleroxylon K.Schum.	Ayous	52,9	16	0,200

p = Valor de probabilidad; **p < 0,01
f moda = Frecuencia relativa de la moda
n = Número de empresas que comercializan la madera

discriminaciones muy parecidas (a pesar de que se obtienen mediante expresiones matemáticas distintas), por lo que pueden considerarse equivalentes en nuestro estudio. El Índice de Margalef presenta perdidas de información al considerar las empresas que comercializan una madera conjuntamente, sin tener en cuenta cada nombre vulgar concreto, por lo que no presenta utilidad en el estudio de nomenclatura de maderas.

2. El Índice de Variación Cualitativa, empleado en sociología, aparte de evaluar la riqueza de nombres vulgares tiene en cuenta que los repartos sean equilibrados (Fig. 3). Este índice genera las valoraciones más útiles en el caso del estudio de los nombres de las maderas, ya que las mayores puntuaciones las obtienen las maderas con nombres vulgares de importancia similar (las que presentan las mayores dificultades en la asignación de un nombre representativo).

El análisis del gráfico de discriminación del Índice de Variación Cualitativa (Fig. 3) permite detectar diferentes comportamientos en cada uno de los grupos de maderas siguientes:

TABLA 3.- Análisis de los efectos de la zona geográfica y el tamaño de la empresa mediante la regresión logística (en columnas se recogen los 7 estratos geográficos definidos en la figura 1). Los grupos analizados son coníferas (CON), frondosas americanas no tropicales (FANT) y frondosas mundiales tropicales (FMT).

Estrato	*C*	*E*	*G*	*N*	*O*	*S*	*V*
CON							
zona geográfica							
p	0,734	0,241	0,483	0,559	0,785	0,648	0,372
Odds ratio	1,128	0,661	1,309	0,819	1,096	0,859	1,339
intervalo 95%	0,562	0,330	0,617	0,419	0,569	0,448	0,706
	2,267	1,321	2,780	1,601	2,109	1,649	2,541
tamaño empresa							
p	0,542	0,641	0,637	0,525	0,531	0,522	0,481
Odds ratio	0,920	0,938	0,936	0,917	0,918	0,916	0,908
intervalo 95%	0,705	0,716	0,713	0,702	0,703	0,701	0,694
	1,202	1,228	1,227	1,198	1,200	1,198	1,188
FANT							
zona geográfica							
p	0,294	0,103	0,243	0,855	0,0071**	0,476	0,088
Odds ratio	0,620	2,795	0,615	1,112	0,292	1,378	2,246
intervalo 95%	0,254	0,811	0,272	0,355	0,119	0,570	0,885
	1,514	9,627	1,391	3,480	0,715	3,332	5,697
tamaño empresa							
p	0,737	0,794	0,603	0,692	0,730	0,700	0,499
Odds ratio	0,934	0,948	0,900	0,923	0,933	0,926	0,870
intervalo 95%	0,627	0,635	0,603	0,620	0,629	0,626	0,581
	1,391	1,416	1,341	1,372	1,384	1,369	1,302
FMT							
zona geográfica							
p	0,292	0,119	0,980	0,613	0,584	0,444	0,064
Odds ratio	0,714	2,008	0,992	1,243	1,222	1,320	0,604
intervalo 95%	0,382	0,836	0,528	0,535	0,597	0,648	0,354
	1,336	4,822	1,863	2,884	2,502	2,687	1,030
tamaño empresa							
p	0,626	0,625	0,567	0,623	0,540	0,570	0,738
Odds ratio	0,930	0,929	0,918	0,929	0,913	0,920	0,951
intervalo 95%	0,695	0,692	0,686	0,693	0,682	0,691	0,709
	1,245	1,247	1,229	1,245	1,222	1,226	1,275

p = Valor de probabilidad; **p < 0,01



1. Las maderas de coníferas presentan dispersiones asociadas a una elevada cantidad de nombres alternativos (frecuentemente asociados a diferentes zonas de procedencia), como se puede comprobar al encontrarse alejadas de la línea punteada del gráfico.
2. Las maderas de frondosas americanas no tropicales presentan dispersiones similares a las coníferas, pero no tan acusadas (se superponen a las anteriores en la zona inferior del gráfico).
3. Las maderas de frondosas tropicales con varios nombres vulgares no suelen presentar más de dos, uno de ellos el originado por el comercio internacional (coincidente con el propuesto por la *Association Technique Internationale des Bois Tropicaux,* que intenta estandarizar los nombres de las maderas tropicales en Europa) y el otro procedente de las lenguas vernáculas de Guinea Ecuatorial (antigua colonia española hasta su independencia en 1968 y principal zona de la que se importan estos productos en los últimos años).
4. Las maderas de frondosas europeas no presentan dispersión. Solo una de las once consultadas presenta un nombre vulgar secundario con una frecuencia superior a 10% de la denominación principal (es el caso de la madera de “sicomoro”, correspondiente a las especies europeas del género *Acer*).

Se ha considerado interesante diseñar un nuevo índice que refleje de forma sencilla y apropiada la dificultad en la elección de un nombre vulgar frente a otros alternativos. La gráfica de la figura 4 muestra la dificultad en el establecimiento de un nombre representativo, mayor a medida que la madera se sitúa en sectores angulares superiores. El índice elegido, denominado *Índice Bimodal*, se recoge en la siguiente expresión:

$$I_b = \frac{f_{segundo}}{f_{moda}}$$

I_b: Índice Bimodal

f_{moda}: Frecuencia de la moda

$f_{segundo}$: Frecuencia del segundo nombre comercial más habitual

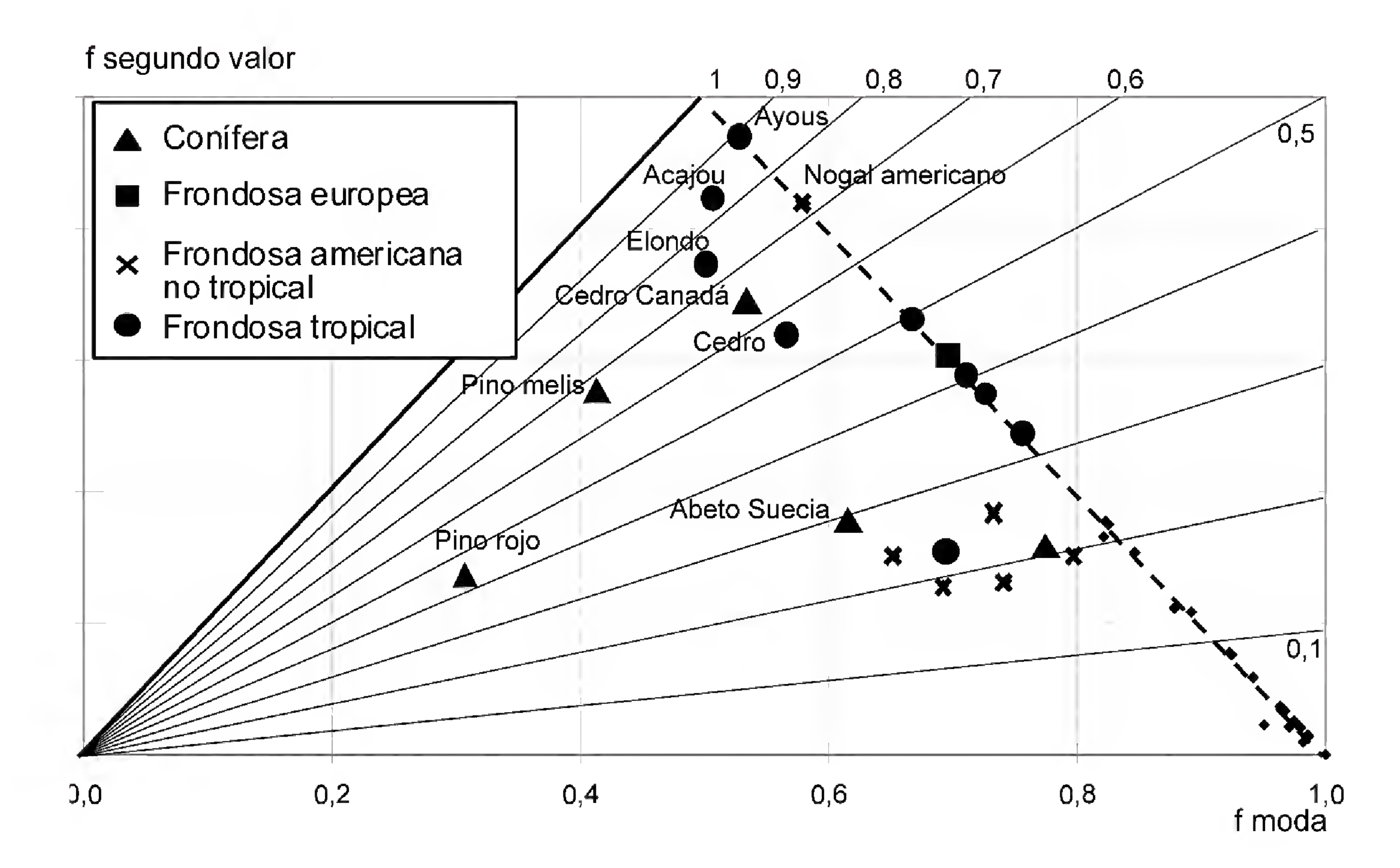


FIGURA 4. Discriminación según las frecuencias de las dos principales denominaciones (moda y segundo valor).

Las líneas oblicuas continuas corresponden con puntos con el mismo Índice Bimodal. La línea discontinua indica maderas con sólo dos nombres comerciales.
f = frecuencias relativas en tanto por uno.
Ver leyenda de la figura 2 para los nombres científicos de las especies.

Este sencillo índice refleja la principal característica de interés: la cercanía entre las frecuencias de los dos nombres comerciales que aparecen más veces. Cuanto mayor sea el índice, más se parecerá la distribución a una bimodal y más difícil será la elección de un único nombre representativo. Los valores que puede tomar varían entre 1 (distribución bimodal o polimodal) y 0 (todas las empresas comercializan la madera con el mismo nombre).

En el figura 5 se ha representado el Índice Bimodal de forma equivalente a las gráficas de discriminación empleadas para el resto de índices. Se puede observar la gran similitud entre esta gráfica y la del Índice de Variación Cualitativa. Las ventajas que presenta son su facilidad de obtención y su interpretación intuitiva.

Solo en el caso de la madera "pino melis" (*Pinus echinata* Mill., *P. elliotti* Engelm., *P. taeda* L. y *P. palustris* Mill.) se detectó una influencia significativa de la zona geográfica en la denominación comercial empleada por las empresas. En los estratos C y O (noreste y centro) las empresas coinciden en denominar a esta madera "pino melis" (la moda), posiblemente influenciados por la denominación francesa *mélèze*, aplicada al género *Larix*. En el estrato N (norte) se utiliza la denominación "pino amarillo", procedente de la traducción literal del nombre de la documentación de la importación de Estados Unidos y en la zona sur (estrato S) "pino tea", nombre tradicional aplicado a especies autóctonas similares. Es lógico que el el origen geográfico esté asociado a esta madera, debido a que procede de importación reciente (sin un nombre tradicional asociado), es parecida a otras maderas autóctonas (da lugar a denominaciones similares) y está muy extendida en la red comercial actual. Aparte de la madera "pino melis", solo en otros dos la significación se encuentra en el intervalo 90%-95% ("badi" y "tulipier").

La regresión logística confirma el escaso efecto del origen geográfico. Solo el grupo de las frondosas americanas no tropicales en el estrato O (zona central) presenta valores significativos. El *odds ratio* (razón de momios) indica una mayor utilización en esta zona de nombres diferentes a la moda. La explicación es que este tipo de

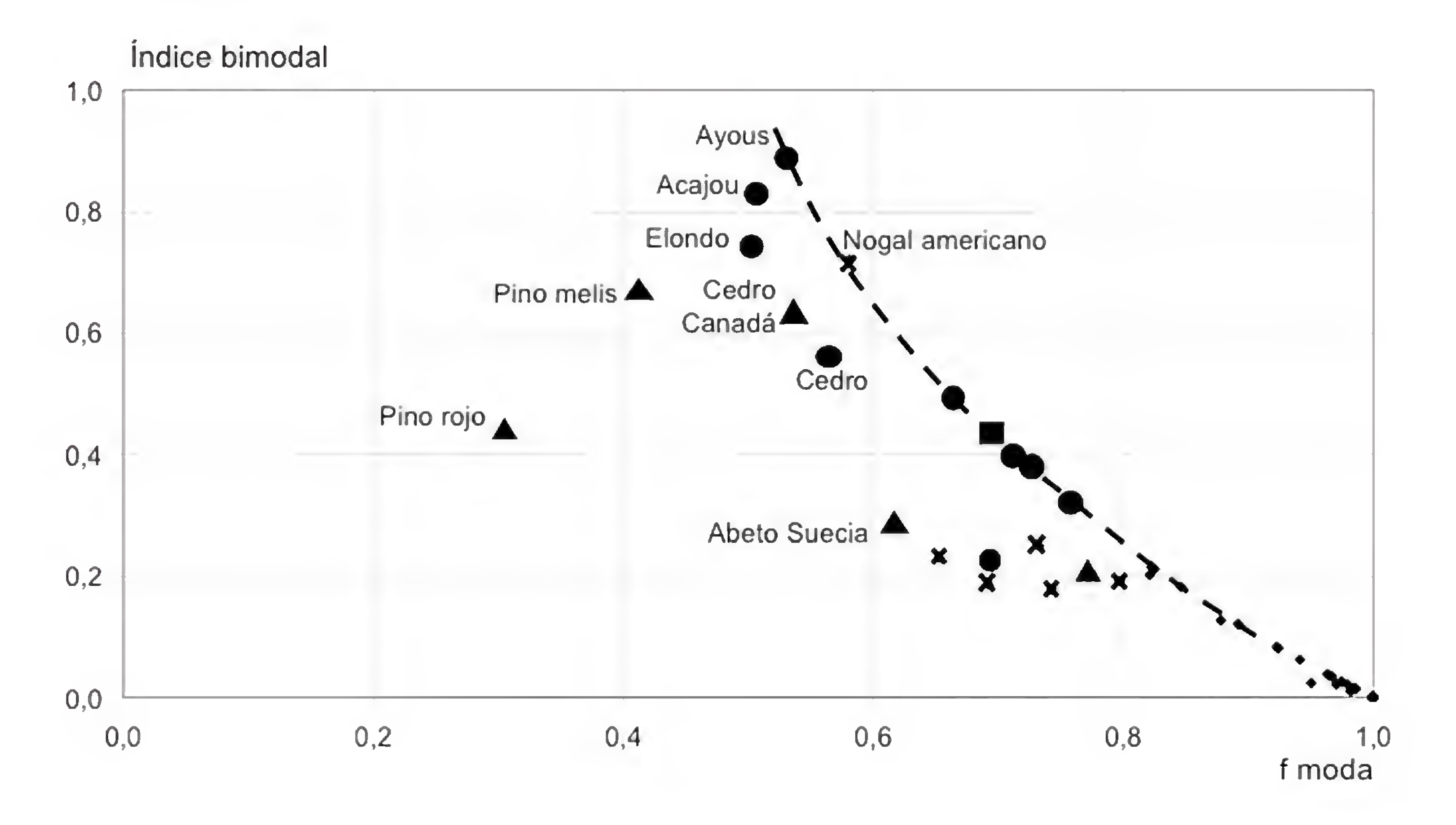


FIGURA 5.- Discriminación de acuerdo con el Índice Bimodal.

f moda = frecuencia relativa de la moda en tanto por uno.
Ver leyenda de la figura 2 para los nombres científicos de las especies.



maderas entra en el mercado a través de los puertos mercantes, estando el estrato O alejado de ellos y de la influencia que ejercen los nombres utilizados en el país de origen.

No se han detectado relaciones significativas entre el tamaño de la empresa y el tipo de denominación comercial utilizada.

El análisis de la concordancia con el Índice Kappa ha demostrado la importante divergencia entre la nomenclatura ofrecida por la normativa oficial y la que realmente utiliza la sociedad. El valor 0,458 obtenido se encuentra muy por debajo de los que se consiguen en folletos comerciales de empresas o en catálogos de asociaciones empresariales. Podemos afirmar que la norma UNE-EN 13556:2004 se ha elaborado en muchos casos sin aplicar los nombres comerciales que realmente se utilizaban en el momento de su redacción, desaprovechando la interesante ocasión que presenta la elaboración de estos documentos.

Conclusiones

El conocimiento de los nombres vulgares utilizados ha sido posible mediante una encuesta estratificada, analizando la moda como variable central. En la mayoría de los casos (54%) los resultados apuntan a la convergencia hacia una sola denominación.

De las diferentes alternativas de índices de dispersión, el Índice de Variación Cualitativa ha resultado el de mayor interés en el estudio de la nomenclatura de maderas. En este estudio se ha definido un nuevo índice, denominado Índice Bimodal, con el que se obtienen resultados similares a Índice de Variación Cualitativa pero presenta las ventajas de su facilidad de cálculo y su interpretación intuitiva.

Se han detectado dos tipos de dispersión fundamentales; por un lado, repartos equilibrados entre un número escaso de posibilidades (frecuente en las maderas tropicales) y por otro, repartos entre un número elevado de nombres comerciales (el que se presenta en madera de coníferas y frondosas americanas no tropicales). El primer caso, reflejo de distribuciones polimodales, es el que presenta mayores dificultades para elegir un nombre representativo. La escasa dispersión que se presenta en el caso de frondosas europeas refleja la convergencia nomenclatural a lo largo de su extensa historia.

La zona geográfica y el tamaño de la empresa no influyen en el nombre comercial que utilizan las empresas en sus maderas (solo en el caso de una madera, pino melis, la zona geográfica influye significativamente).

La normativa oficial UNE-EN 13556:2004 no se ha elaborado proponiendo como estándares los nombres comerciales de las maderas que realmente se utilizan en España.

Referencias

Agresti, A. y B.F. Agresti. 1977. Statistical analysis of qualitative variation. *Sociological Methodology* 9:204-237.

AEIM (Asociación Española de Importadores de Madera). 2003. Directorio de la madera. Asociación Española de Importadores de Madera. Madrid. 210 p.

ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux). 1965. Nomenclature générale des bois tropicaux. Association Internationale Technique des Bois Tropicaux. París. 283 p.

ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux). 1986. Atlas des Bois Tropicaux, Afrique. Association Internationale Technique des Bois Tropicaux. París. 208 p.

British Standard 589:1935. 1935. Nomenclature of softwoods. British Standards Institution, Londres.

Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement. 1989. Bois des Dom-Tom (I): Guyane. CIRAD-FÔRET. Nogent-sur-Marne (Francia). 232 p.

Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement. 1990. Bois des Dom-Tom (II): Antilles francaises. CIRAD-FÔRET. Nogent-sur-Marne (Francia). 188 p.

Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement. 1993. Bois des Dom-Tom (III): La Nouvelle Caledonia. CIRAD-FÔRET. Nogent-sur-Marne (Francia). 188 p.

Chichignoud, M., G. Deon, B. Parant, P. Vantomme y P. Detienne. 1990. Atlas de maderas tropicales de América

Latina. Association Internationale Technique des Bois Tropicaux. Paris. 218 p.

Dahms, K.G. [1990]. Atlas des Bois Tropicaux. Asie, Australie, Oceanie. Association Internationale Technique des Bois Tropicaux. París. 248 p.

Durand, P.Y. 1985. Nomenclature des essences ivoiriennes: noms vernaculaires, noms commerciaux, noms scientifiques. CIRAD-CTFT. Nogent-sur-Marne (Francia). 20 p.

Instituto Nacional de Estadística. 2005. Encuesta industrial de productos, PRODCOM [en línea]. Instituto Nacional de Estadística. Madrid [Consultado: 09/04/2005]. Disponible en internet: http://www.ine.es/daco/daco42/encindpr/cifras04.htm

Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3:36-71.

Metadata African Organization. 2005. Tervuren Xylarium Wood Database [en línea]. Metadata African Organization. Tervuren (Bélgica). [Consultado: 06/05/2005]. Disponible en internet: http://www.metafro.be/xylarium/browse?g=A

Meyer, H. 1936. Buch der Holznamen. The book of woodnames. Les noms des bois. Los nombres de las maderas. 2 v. M. & H. Schaper. Hannover (Alemania). 564 p.

Miller, R.B. y J.I. Ilic. 2005. A Database of Common Names for World Timbers [en línea]. United States Department of Agriculture, Forest Products Laboratory. Madison (Estados Unidos). [Consultado: 20/06/2005]. Disponible en internet: http://www2.fpl.fs.fed.us

Missouri Botanical Garden. 2005. W3TROPICOS [en línea]. Missouri Botanical Garden. St. Louis (Estados Unidos). [Consultado: 10/02/2005]. Disponible en internet: http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html

Normand, D. 1950-60. Atlas des bois de la Cote d'Ivoire. 3 v. Centre Technique Forestier Tropical. Nogent-sur-Marne (Francia).

Organisation for European Economic Co-operation. 1951. Bois tropicaux africains; nomenclature, caractéristiques. African tropical timber; nomenclature, description. Organisation for European Economic Co-operation. París. 421 p.

Porcher, M.H. 2005. Multilingual Multiscript Plant Name Database [en línea]. University of Melbourne, Institute for Land & Food Resources. Melbourne (Australia). [Consultado: 16/05/2005]. Disponible en internet: www.plantnames.unimelb.edu.au

Shannon, C.E. y W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Illinois, EUA.

Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163:688.

UNE EN 13556:2004. 2004. Nomenclatura de las maderas utilizadas en Europa. Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid.

UNE 56-501-1957. 1957. Nomenclatura de las principales maderas de coníferas españolas. Instituto Nacional de Racionalización y Normalización. Madrid.

UNE 56-501-1994. 1994. Nomenclatura de las principales maderas de coníferas españolas. Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid.

UNE 56-502-1972. 1972. Nomenclatura de las principales maderas de frondosas españolas o aclimatadas en España. Instituto Nacional de Racionalización y Normalización. Madrid.

UNE 56-504-1973. 1973. Nomenclatura de las principales maderas comerciales extranjeras de coníferas. Instituto Nacional de Racionalización y Normalización. Madrid.

United States Departament of Agriculture, Agricultural Research Service, National Germplasm Resources Laboratory. 2005. GRIN Taxonomy. Germplasm Resources Information Network [en línea]. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Germplasm Resources Laboratory. Beltsville (Estados Unidos). [Consultado: 16/06/2005]. Disponible en internet: http://www.ars-grin.gov/npgs/aboutgrin.html

Manuscrito recibido el 8 de marzo de 2010.
Aceptado el 3 de abril de 2014.

Este documento se debe citar como:
Villasante, A., S. Vignote y R. Blanco. 2014. Análisis estadístico de los nombres comerciales de maderas en un país (España). *Madera y Bosques* 20(2):59-70.



Satureja macrostema: situación ambiental, conocimiento local y roles de género

Satureja macrostema: environmental situation, local knowledge and gender roles

Tomás Ortega-Ortega[1] y Verónica Vázquez-García[1]

1 Programa de Estudios para el Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Correos electrónicos: verovazgar@yahoo.com.mx, tommyortega2002@yahoo.com.mx

Resumen

Los Recursos Forestales No Maderables (RFNM) contribuyen a la seguridad alimentaria de comunidades forestales. En México se aprovechan aproximadamente 1000, pero existen pocos trabajos que sistematicen conocimientos locales y el papel de las mujeres en su aprovechamiento. Este artículo persigue tres objetivos: describir las condiciones de distribución, luz y suelo de un RFNM llamado "poleo" *Satureja macrostema* (Benth.) Briq.; documentar los conocimientos locales sobre esta planta; analizar diferencias de género en términos de acceso, uso y comercialización. El trabajo fue realizado en San Miguel Mixtepec, comunidad zapoteca de los Valles Centrales de Oaxaca. Para obtener información se utilizó una variedad de métodos: análisis de suelo y cobertura de dosel, observación participante, entrevistas y talleres. Se concluye que el poleo se distribuye de forma discontinua, bajo cobertura de dosel cerrado, en suelos moderadamente ácidos y ricos en materia orgánica. Existen conocimientos locales sobre el proceso reproductivo de la planta que fomentan su permanencia. La planta tiene usos rituales, ornamentales, alimenticios y medicinales. Los hombres predominan en los dos primeros usos y las mujeres en los dos últimos. La comercialización está predominantemente en manos femeninas, específicamente de las "viudas", es decir, mujeres adultas con hijos/as y sin pareja. El poleo ingresa al mercado regional en condiciones de informalidad y bajo precio, pero su trueque o venta aporta diversidad a la dieta y es un buen ejemplo de la amplia gama de actividades de subsistencia que realizan las mujeres de comunidades forestales del país.

Palabras clave: comercio, género, Recursos Forestales No Maderables, saberes, uso.

Abstract

Non Timber Forest Products (NTFP) contribute to the food security of forest communities. Around 1000 of those are used in Mexico, but little information is available on local knowledge and women's roles in NTFP management. This paper pursues three objectives: to describe the distribution, light and soil conditions of a NTFP called "poleo" *Satureja macrostema* (Benth.) Briq.; to document local knowledge on this plant; to analyze gender differences in terms of access, use and trade. Research was conducted in San Miguel Mixtepec, a Zapotec community of the Central Valleys of Oaxaca. Methods include soil and canopy analysis, participant observation, interviews and workshops. Poleo grows under a closed canopy, in slightly acid, organically rich soils. Local knowledge on the plant's reproductive process contributes to its permanence. The plant is used for community rituals, as ornament, food and medicine. Men predominate in the first two uses and women in the remaining ones. Trading activities are female-dominated, mostly by 'widows' (adult women with children and no partner). The plant is informally traded in regional markets at very low prices. However, its barter or sale contributes to diversify local diets and is a good example of women's subsistence activities in the forest communities of Mexico.

Key words: trade, gender, Non Timber Forest Products, knowledge, uses.

Introducción

En México, alrededor de 140 millones de hectáreas (73% del territorio nacional) tienen cobertura forestal. Los ecosistemas con mayor porcentaje son matorrales xerófilos (41%), bosques templados (24%) y selvas (23%) (INE, 2009). Los bosques albergan 81% de las 25 mil especies de plantas vasculares y 75% de las 1352 especies vertebradas que existen en México (Bray *et al.*, 2007), asunto que coloca al país en el cuarto lugar mundial en biodiversidad (Sánchez y García, 2008).

El uso medicinal, alimenticio, ritual, ornamental o artesanal de los Recursos Forestales No Maderables (RFNM) contribuye a la seguridad alimentaria y bienestar de comunidades forestales (Martínez y Masera, 2012). RFNM como orégano, candelilla, raíz de zacatón, ixtles de palma, agaves, cactáceas y lechuguilla tienen un mercado establecido en manos de pequeñas industrias. Se aprovechan alrededor de 1000 RFNM y la información sobre cada uno de ellos es limitada (Musálem, 2007). Merino *et al.* (en prensa) mencionan la resina, tierra de monte, carbón, palmas, plantas de ornato, agaves y hongos, resaltando la informalidad y el "sub-registro" en su proceso de cosecha y comercialización, "a pesar del importante potencial de esta producción". Chapela y Madrid (2008) también señalan la carencia de datos y políticas que impulsen esta importante área del aprovechamiento forestal.

El poleo es un RFNM de tipo arbustivo con olor a menta que crece en climas templados de encino (*Quercus*), pino (*Pinus*) y oyamel (*Abies religiosa*) (Figs. 1 y 2). Se distribuye en zonas montañosas y boscosas al occidente del país, abarcando los estados de Oaxaca, Guerrero, Colima, Jalisco, Michoacán y el eje neovolcánico del Estado de México, Puebla y Morelos. Los purépechas lo conocen como nurhitini o nurite; los zapotecos le llaman hierba o rosa de borracho, poleo, guiezza y quieutzu; los nahuas le nombran cuencuenzpatli. También se le conoce como toche, garañona, té de monte, atóchietl, tragorigano, quauhnahuacense, toronjil, tunché y tarepe (Turner, 2008; Redowski y Calderón, 2010).

En los mercados de los Valles Centrales de Oaxaca, el poleo se vende e intercambia por alimentos. Tiene usos medicinales (controlar malestares estomacales y la resaca producto del consumo excesivo de bebidas embriagantes), alimenticios (en forma de té, agua de tiempo, condimento o quelite), rituales y ornamentales, por ejemplo, se reparte en forma de pequeños manojos y se utiliza para adornar edificios en bodas, fiestas patronales, día de muertos y año nuevo. Todo esto hace del poleo un RFNM multipropósito de "interés social y económico" (Aguilar, 2002:44).

La venta de RFNM constituye una significativa fuente de ingresos para las mujeres más pobres, de mayor edad y con escasos niveles de educación formal (Schreckenberg *et al.*, 2006; Ahenkan y Boon, 2011; Djoudi y Brockhaus, 2011; Mai *et al.*, 2011). Tales ingresos también se encuentran en condición de sub-registro ante la existencia de



FIGURA 1. Planta de poleo en fase vegetativa.



FIGURA 2. Planta de poleo en fase reproductiva.

subsidios gubernamentales, remesas y venta de productos agrícolas, pecuarios o madereros (Quiroz, 1999; Schreckenberg y Marshall, 2006; World Bank, 2009; Shackleton *et al.*, 2011). Por tal motivo, resulta necesario documentar el papel de las mujeres en el aprovechamiento de RFNM con la finalidad de promover el desarrollo integral y sustentable de comunidades forestales. Atendiendo esta preocupación, el presente artículo persigue los objetivos que se detallan a continuación.

OBJETIVOS

Describir las condiciones de distribución, luz y suelo que favorecen el crecimiento y reproducción del poleo (*Satureja macrostema*), RFNM aprovechado en los Valles Centrales de Oaxaca.

Documentar los conocimientos locales sobre la época y formas de extracción más favorables para la planta.

Analizar las diferencias de género en torno a tres aspectos: el uso del poleo, el acceso a la planta y su proceso de mercadeo.

ZONA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el municipio de San Miguel Mixtepec (SMM), distrito de Zimatlán, región Valles Centrales, Oaxaca. Tiene una superficie de 73 km^2, donde 92,12% es bosque de pino-encino (INEGI, 2005). La población total del municipio es de 3245 habitantes (1571 hombres y 1674 mujeres) distribuidos en 586 hogares. La mayoría (77%) habla zapoteco.

SMM se caracteriza por ser una comunidad forestal, cuya superficie de uso de suelo asignado a la agricultura es de 3,86% (INEGI, 2005). Tal actividad se desarrolla en condiciones de ladera y con prioridad para la siembra de frutales de clima templado (durazno, granada china, manzana criolla, pera), además de maíz y frijol. En 2010 se produjeron 3469 m^3 de madera, 3208 toneladas de maíz y 249 toneladas de frijol (INEGI, 2010). El municipio es considerado de muy alta marginación (Conapo, 2011).

La tenencia de la tierra es comunal, con un predominio masculino absoluto (772 comuneros y ninguna comunera). Tanto el Comisariado de Bienes Comunales (CBC) como el Comité de Vigilancia (CV) está totalmente compuesto por hombres. El bosque se encuentra bajo un programa de aprovechamiento forestal cuya superficie es de 2599 hectáreas en producción para el periodo 2008-2018. Además cuenta con un área de conservación y aprovechamiento restringido de 2879 hectáreas (Semarnat, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se realizó entre junio de 2012 y marzo de 2013. Primero se visitaron cuatro mercados de los Valles Centrales de Oaxaca (Zimatlán de Álvarez, Zaachila, Ocotlán de Morelos y Ayoquezco de Aldama) para observar la dinámica de comercialización del poleo.

También se acudió a SMM para realizar entrevistas y obtener la autorización del CBC para realizar la investigación.

Posteriormente se seleccionaron y geo-referenciaron tres lugares del territorio de SMM donde crece el poleo (Fig. 3). Cada sitio tuvo una extensión de 100 m x 100 m ubicados a tres altitudes distintas, para tomar muestras del suelo en forma de zig-zag a una profundidad de 20 cm. Se obtuvieron cinco sub-muestras por sitio, que fueron mezcladas para tener una sola muestra por sitio. Se calculó la cobertura del dosel bajo el cual crece la especie mediante el uso de un densiómetro esférico, para lo cual se ubicaron nueve puntos en cada sitio; en cada uno se tomaron cuatro lecturas (al norte, sur, este y oeste respectivamente). En todos estos recorridos se ubicó la especie en su hábitat natural, se identificaron los parajes donde crece, se obtuvieron datos para la descripción de distribución y se observó la dinámica de cosecha.

También se utilizaron tres técnicas de investigación social: observación participante, talleres y entrevistas. La primera permite registrar la realidad de forma efectiva y directa; los talleres son un medio idóneo para hacer diagnósticos, identificar problemáticas y socializar información entre personas que no tienen acceso a medios de comunicación (periódicos, internet) o incluso no saben leer y escribir; las entrevistas ayudan a identificar significados y patrones de comportamiento en torno a determinada actividad, por ejemplo el uso del poleo. En su modalidad de semi-estructuradas, las preguntas parten de

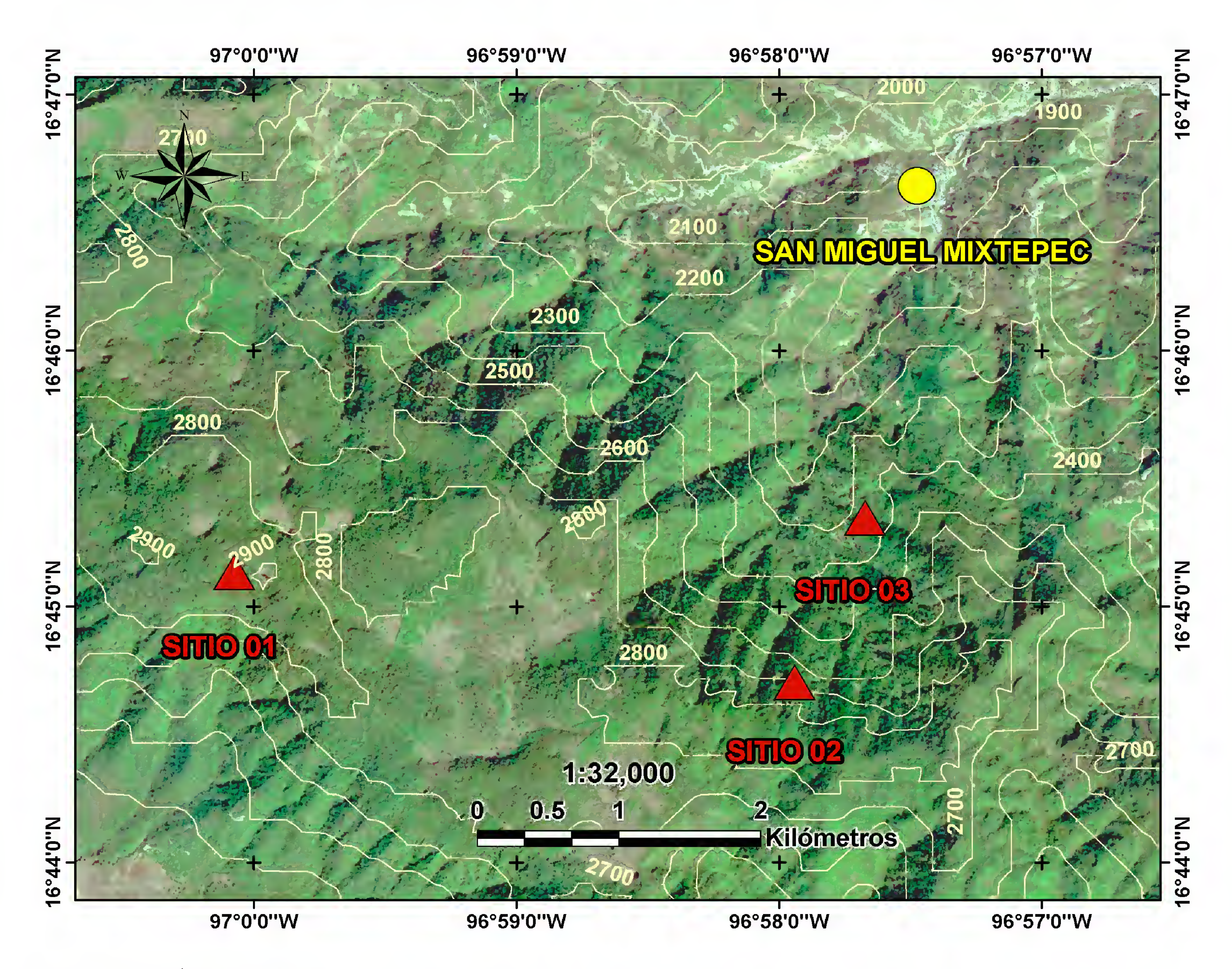


FIGURA 3. Sitios de muestreo.



temáticas específicas y se van desarrollando nuevas a medida que se brinda la información solicitada (Sandoval, 2002). La combinación de métodos permitió triangular la información obtenida.

La observación participante se realizó de manera permanente, registrando todos los datos posibles sobre el poleo. La fiesta de año nuevo, que coincide con el ingreso de nuevas autoridades al gobierno municipal, fue observada de principio a fin, durante varios días, desde el proceso de extracción de la planta hasta su arreglo y reparto el día de la fiesta.

Se organizaron dos talleres, el primero con diez hombres con algún cargo comunitario, ya sea en el poder agrario o municipal: integrantes del CBC, del CV, representantes de agencias o núcleos rurales. En el segundo participaron 19 mujeres. En ambos talleres se abarcaron los siguientes temas: épocas del año en las que se encuentra y cosecha el poleo, condiciones en las que crece, formas y cantidades de cosecha, usos que se le da a la planta y proceso de comercialización.

Finalmente, se entrevistó a nueve hombres y cinco mujeres con el fin de profundizar sobre las condiciones que favorecen el crecimiento de la especie, los diversos usos y el orden de género que rige el acceso a la planta. Cinco de los nueve hombres tenían algún cargo: dos policías municipales; un ex presidente del CBC (período 2009-2012); un integrante del comité de padres de familia de la escuela primaria; y un servidor público en el Área de Desarrollo Agropecuario de Zimatlán. Ninguna de las cinco mujeres entrevistadas tenía cargos comunitarios en el momento de la entrevista.

Resultados y discusión

Condiciones de distribución, luz y suelo

El poleo crece de manera natural entre los 2345 msnm y 2900 msnm. Fue localizado en parajes específicos conocidos localmente como Mogote del Chaneque, Nevería, Nerela, Jarro Grande, Jarro Chico y Tierra Colorada. Los parajes se caracterizan por tener manantiales permanentes de aguas, vegetación abundante de pino y encino, suelos ricos en materia orgánica y temperaturas relativamente bajas (Umafor, 2009).

El poleo se distribuye de manera discontinua por debajo del dosel vegetal principal, por lo tanto es una especie que forma parte del sotobosque. Ahí se presentan condiciones específicas que favorecen su crecimiento. Generalmente estos espacios albergan una alta riqueza florística endémica (Challenger y Soberón, 2008; Rzedowski y Calderón, 2010; Villaseñor, 2010).

De acuerdo con los talleres y las entrevistas, el poleo crece debajo del encino, de la combinación de pino y encino y, ocasionalmente, debajo del pino. “Por lo regular, hay abajo de los encinos, entre encino y pino, es donde hay”. Se desarrolla bajo cobertura de dosel cerrado, esto implica que el poleo aprovecha al máximo la poca luz solar que atraviesa la cobertura para la elaboración de compuestos aromáticos y la fotosíntesis (Valladares 2006; Umafor, 2009) (Tabla 1).

Las temperaturas de los bosques de pino y encino tienden a ser frías (Challenger y Soberón, 2008). En el municipio se presenta una media anual de 14 °C a 16 °C; durante el invierno la media mínima alcanza los 0 °C y en

Tabla 1. Características de los sitios muestreados.

Sitio	*LN*	*LW*	*Altitud m snm*	*Cobertura del dosel (%)*	*pH*	*M.O.*
1	16° 45′ 07,8″	97° 00′ 04,4″	2847	83,62	6,0	11,9
2	16° 44′ 42,3″	96° 57′ 56,4″	2727	92,49	6,0	9,2
3	16° 45′ 20,8″	96° 57′ 40,3″	2345	86,8	6,2	5,4

M.O.: Materia orgánica
Fuente: elaboración a partir de datos de campo y análisis de suelo.

los meses de abril y mayo la media máxima puede llegar a los 26 °C (Umafor, 2009). Esta condición desacelera la descomposición de la materia orgánica, proceso que acidifica ligeramente el suelo, aunque la variación en el pH también depende del origen del suelo ahí presente (Labrador, 2001; Challenger y Soberón, 2008).

De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (Semarnat, 2001), el pH de las tres muestras medido en agua con una relación suelo/solución de 1:2, presentó una clasificación de moderadamente ácido. Las medidas obtenidas se encuentran en un intervalo que favorece la asimilación de macro y micronutrientes (Tabla 1).

La acumulación de materia orgánica descompuesta provoca la presencia de suelos oscuros debido a la alta presencia de humus. Las entrevistas señalan que los suelos negros favorecen el crecimiento y desarrollo del poleo: "en pura tierra negra se da buena la mata". En suelos donde no se tiene esta coloración, el crecimiento de la planta es precario o inexistente: "hay tierra roja, pero como que no se dan mucho".

El parámetro de materia orgánica de los tres sitios fue obtenido por el método Walkley-Black. Las concentraciones se ubican en alto contenido (3,6-6,0) para el sitio 3 y muy alto (>6,0) para los sitios 1 y 2, de acuerdo con la clasificación de la NOM-021-RECNAT-2000 que corresponde a suelos no volcánicos (Semarnat, 2001). Esto en virtud de que el INEGI (2005) clasifica el área muestreada con presencia de suelos luvisol y cambisol. El sitio 1, que corresponde a la parte más alta (2847 msnm) y menos vulnerable a la intervención humana, se caracterizó por tener la mayor concentración (Tabla 1). La alta acumulación de materia orgánica descompuesta favorece la presencia silvestre de la especie.

La especie está mejor conservada en Mogote del Chaneque y Nevería, que son las partes más altas: "yo pienso que porque está... más alto y más frío y luego es donde casi no llegan las personas a cortarla, por eso hay siempre ahí en ese lugar". Sin embargo, en los recorridos sí se constataron indicios de cosecha en estos parajes.

Época y forma de cosecha: un sistema de saberes

De febrero a mayo la planta entra en un proceso de defoliación y reposo. De mayo a agosto, con las lluvias, la planta retoña y la parte vegetativa se regenera (Aguilar *et al*., 2005). De septiembre a enero está lista para ser recolectada. En estos meses los brotes han alcanzado una longitud de 50 cm a 80 cm, que es la medida más adecuada para los distintos usos que se le dan a la planta.

Los pueblos indígenas han desarrollado sistemas de saberes relacionados con el manejo y aprovechamiento de RFNM (De Walt, 1999; De la Peña e Illsey, 2001). Tal es el caso del poleo. En la temporada de lluvias se reduce al máximo su recolección porque la comunidad está concentrada en trabajos agrícolas y porque los tallos no tienen la longitud adecuada. "Durante la época de lluvias dejamos que la planta retoñe". La cosecha se realiza de septiembre en adelante, generalmente hasta enero. Se trata de una actividad estacional, bien coordinada con el ciclo de siembra de maíz, que termina precisamente en septiembre, cuando se cosechan los primeros elotes. El aprovechamiento del poleo representa ingresos adicionales a las actividades agrícolas de la comunidad. La complementariedad entre actividades agrícolas y de recolección forestal ha sido documentada en otros estudios (Schreckemberg *et al*., 2006).

La floración del poleo comienza en el mes de noviembre; esta etapa fenológica coincide con la época de mayor extracción. La gente tiene cuidado en no recolectar los tallos que están en floración para proteger la fase reproductiva de la especie y su semilla. Así lo dijo un entrevistado: "si lo cortamos con flor vamos a echar a perder semilla... no conviene usarla cuando tiene flor... siempre lo buscamos en parte donde están así en hoja verde, donde todavía no tiene flor... esa es... la regla que tenemos, pues". De acuerdo a una entrevistada, la clientela prefiere las ramas verdes, sin florecer: "ya cuando [tiene] flores ya las hojas son rosado-amarillas, y cuando son tiernitos, las hojas están todas verdes pues, todas verdes, y es lo que le gusta a la gente cuando lo llevan a vender... cuando lo usan en los nacimientos para las posadas... que se vean verdes donde van a dar una posada". Según Alexiades y Shanley (2004), la estrategia de cosecha influye en el

estado del recurso. En el caso del poleo, la cosecha de tallos libres de floración permite su reproducción y por consiguiente, la permanencia del recurso en el bosque. Se constata que en SMM existen conocimientos sobre el proceso reproductivo de la planta que fomentan su permanencia.

La planta generalmente se cosecha con la mano: "hemos visto que cuando lo cortamos con la mano se retoña otra vez, no se muere la raíz". Así se fomenta el surgimiento de retoños: "lo vas quebrando… con la mano nomás… donde quiebras, ahí van a crecer, en vez de uno, van a crecer dos [retoños de poleo]". Dada la consistencia leñosa del tallo, no es difícil cortar con la mano: "es frágil la rama, se quiebra fácilmente, por eso lo cortan… batallan más usando una herramienta" (Figs. 4 y 5). La norma establece evitar la tijera: "la planta que se corta con… tijera o con… cualquier tipo de fierro, no… confiamos mucho, porque a veces se seca". La gente sabe que cosechar con la mano favorece el desarrollo de nuevos brotes. En cambio, la utilización de una tijera o de otro instrumento punzocortante puede ser fuente de proliferación de enfermedades y ocasionar la muerte de la planta.

El poleo responde positivamente a la intervención humana: puede crecer cerca del maíz ya que los "roces" favorecen su desarrollo. La cosecha de madera también lo ayuda: "cuando se corta la madera, ahí… retoña mucho". Si alguien se encuentra "poleo avejentado", lo poda para que se renueve: "uno mismo le da su mantenimiento… porque hay… poleos que… ya están secos… pues tienes que cortar abajo para que vuelva a nacer… nuevo poleo, porque si lo dejas nomás pura rama… se va a secar… tú tienes que cortarlo y ya vuelve a nacer".



FIGURA 4. Hombre recolectando poleo con la mano.



FIGURA 5. Planta de poleo con nuevos brotes a partir del tallo recolectado.

Usos diferenciados de género: lo público y lo privado

Se identificaron cuatro usos: ritual y ornamental (para fiestas comunitarias); alimenticio y medicinal (para uso familiar). Es decir, el poleo es una planta del espacio público (ritual y ornamental) y del privado (medicinal y alimenticio). Puesto que los hombres están culturalmente asociados con el primero, y las mujeres con el segundo, los usos de la planta también están diferenciados por género. En esta sección se analiza cada uno de ellos.

El poleo se utiliza en diferentes festividades como "símbolo de alegría", es decir, de unidad y celebración comunitaria. Las más importantes son: la fiesta de año nuevo (1 de enero), mayordomía de San Miguel Arcángel (28 de septiembre), día de muertos (31 de octubre al 2 de noviembre), posadas (16 al 26 de diciembre) y bodas (fechas diversas). La de año nuevo coincide con el ingreso de las nuevas autoridades del gobierno municipal (cabildo) y agrario (CBC). En definitiva es la más importante y para la cual se cosecha más poleo (Tabla 2), por lo que el análisis se centrará en ella.

En la semana previa a la fiesta de Año Nuevo se integra un equipo de hombres de diversas edades. El día 31 de diciembre, muy temprano por la mañana, salen a cosechar el poleo. Regresan por la tarde y después de comer arreglan los ramos que serán entregados a las autoridades y al resto de la población (Fig. 6). También adornan la iglesia y las mesas donde estarán sentadas las autoridades salientes y entrantes. Al día siguiente la repartición de ramos se acompaña con dianas y chilenas instrumentadas con música de viento. Se trata de una ceremonia que celebra el comienzo del año con nuevas autoridades municipales y agrarias, ambos poderes totalmente masculinos. Las esposas de las nuevas autoridades preparan y reparten los alimentos desde varios días antes pero no dan ningún discurso ni figuran como autoridad (Fig. 7).

El uso alimenticio del poleo es bastante más cotidiano y su preparación corresponde a las mujeres. Se identificaron cuatro maneras de consumirlo. Se utiliza para tomarlo en té, para condimentar la comida (frijoles y tamales), cuando no hay nada más que tortilla ("con pura tortilla, como verdura") y como agua de tiempo, cuando el té está frío. La más importante es el té: "por el gusto, es saludable… porque es planta del campo… es sabrosa". "Lo… usamos mucho más que café… para nosotros pues es… más puro". Esta multiplicidad de usos alimenticios fue documentada en el taller de las mujeres, lo cual refleja los roles culturalmente asignados a ellas y los conocimientos que han desarrollado para cumplirlos (Aguilar, 2007). Resalta el uso del poleo como quelite, un alimento de emergencia al cual se recurre cuando no hay nada más para acompañar la tortilla que aporta diversidad a la dieta en forma de vitaminas y minerales (Vázquez-García *et al.*, 2004).

Los usos medicinales del poleo fueron mencionados tanto por mujeres como por hombres. Ambos se enfocaron en usos "ordinarios" ya que los "especializados" (que curan padecimientos más serios) generalmente están en manos de curandero/as de ambos sexos (Leach, 1994). Las participantes del taller documentaron la utilidad del poleo para controlar padecimientos estomacales. Las de mayor edad (≥51 años) resaltaron además su utilidad para el trabajo de parto y las jóvenes adultas (≤30 años) se enfocaron en enfermedades respiratorias relacionadas con el cuidado de hijas e hijos pequeños, situación que refleja

TABLA 2. Fiestas comunitarias y extracción de poleo.

Festividades	*Quién lo extrae (mozos)*	*Cantidad aproximada (brazadas*)*
Fiesta de Año Nuevo	8	12
Mayordomía de San Miguel Arcángel	2	1-2
Fiesta de Navidad	2	1
Bodas	2	2

*Una brazada equivale a lo que se puede tomar con ambos brazos y atar con una cuerda, su peso aproximado es de 20 kg, fuente: taller con hombres, noviembre de 2012.





FIGURA 6. Hombres de SMM recolectando poleo para la fiesta de la comunidad.



FIGURA 7. Mujeres de SMM preparando los alimentos para la fiesta de la comunidad.

conocimientos diferenciados no sólo de acuerdo al género, sino también a la edad. Por su parte, los hombres se enfocaron en el control de la resaca, uso que hace famoso al poleo en los Valles Centrales donde también se le conoce como rosa, hierba o flor de borracho. Un informante mencionó el control de la fiebre: "agua de mezcal caliente con... poleo, [se aplica en] toda la rodilla y la planta de los pies, por la espalda de uno, en la frente, el cuello y luego tapas [con] dos o tres cobijas, pero primero Dios ya amaneces al otro día, ya se va la calentura". Algunas investigaciones han revelado que el poleo es una fuente importante de antioxidantes naturales (Alonso, 2009; Pérez, 2012). El poleo es importante para el cuidado de la salud porque se encuentra disponible localmente y no es necesario pagar por él.

Como puede verse, la planta tiene múltiples usos, razón por la cual posee valor comercial en los Valles Centrales de Oaxaca y necesariamente invita a conceptualizar al bosque de SMM como un sitio de "múltiples usuarios" (Schminck, 1995). Según esta autora, cada "actor" o "grupo social" tiene una "racionalidad" particular para el uso del bosque, las cuales "a menudo están en conflicto". Los roles de género determinan distintas formas de acceso a los RFNM, como se verá en la siguiente sección.

Hombres, mujeres y acceso diferenciado: ¿para la fiesta o para la venta?

El poleo es cosechado de acuerdo a las normas establecidas en la asamblea de bienes comunales. Las mujeres no tienen titularidad de derechos agrarios, ninguna figura en el padrón de comuneros. Esto quiere decir que no tienen voz ni voto en el proceso de toma de decisiones relacionado con el aprovechamiento del poleo. La cosecha del poleo para la fiesta de Año Nuevo no requiere de permiso alguno. De hecho, las autoridades la organizan e instrumentan. Se extraen hasta doce brazadas que se trasladan en camioneta, puesto que hay que repartir ramos a toda persona mayor de 18 años. Se trata de una planta que mantiene viva la estructura de poder masculino, por lo que contribuir a su cosecha es parte de las actividades que los hombres deben hacer en forma de "tequio" o trabajo voluntario.

El uso cotidiano del poleo como alimento o medicina ha hecho que algunas personas lo trasladen al solar para tenerlo a la mano. No es una planta fácilmente adaptable ya que requiere de condiciones ambientales específicas, por ejemplo "tierra de monte" que es rica en materia orgánica y nutrimentos: "no lo planté en esta tierra de aquí del pueblo, sino que lo traje pero juntamente con el abono de allá". Es necesario traer la mata de la montaña con raíz y

plantarla debajo de árboles frutales o en espacios con sombra. Durante la temporada de sequía debe regarse una o dos veces por día para mantenerlo fresco; en la temporada de lluvias, los riegos no son necesarios. Existen dos modalidades de siembra: en maceta y en el suelo. En ambos espacios el crecimiento puede resultar favorable, aunque son pocos los solares donde se encontró poleo.

Dado el valor regional de la planta, no es de sorprenderse que sea buscado por gente de otras localidades y tenga valor comercial en mercados de la región. La extracción para la venta sí requiere de autorización del CBC, asunto que aplica tanto a los/as habitantes de la comunidad, como a personas ajenas a ella. Las personas ajenas a la comunidad, además de pedir permiso, deben pagar una cuota de $150,00 a $200,00 dependiendo de la cantidad requerida. El CBC asigna a una persona para que suba con ellos/as y mantenga control sobre la extracción.

Algunos/as habitantes de SMM tienen mayores posibilidades que otras de obtener autorización para comercializar poleo. Este es el caso de las "viudas" que carecen de un proveedor masculino: "vemos que necesitan... mantenimiento de su familia, pues sí se deja... recogerlo un poquito para venderlo". Una de las mujeres entrevistadas así lo constata: "quería uno comer, pero quién lo va a dar, si no sale uno, digo yo". Como en otras partes del mundo (Seligmann, 2001), las mujeres de SMM que comercializan poleo son jefas de familia que han establecido "derechos" sobre determinados productos, los cuales pueden ser comercializados a pequeña escala, en particular si se trata de herbolaria tradicional para uso ritual, alimenticio o medicinal. La representación de las mujeres como vulnerables en el discurso comunitario les beneficia para establecer y defender tales derechos (Martí, 2001).

Sin embargo, hay bastante ambigüedad sobre cantidades y periodicidad de extracción. Aparentemente, el término "poquito" se refiere a dos brazadas. En relación a la periodicidad, un entrevistado señaló que hay que tener cuidado porque "estamos viendo que si lo dejamos así, pa' que la gente lo saque cada ocho días o cada quince días, ya no va a haber, ese es el cuidado que tenemos". La ambigüedad hace que algunas viudas teman atender algunos encargos de poleo. Señala una de ellas: "a veces... encargan a uno por ahí... pues más que se enoja la gente... fuimos a traer poquito, pero poquito, no mucho también, porque se enoja, porque va a pagar multa, por eso tengo miedo". Otra informante considera que la información sobre permisos de extracción es escasa: "no hay información de eso pues, nomás ellos lo informan así, porque les beneficia".

Las viudas enfrentan estas ambigüedades porque, en SMM como en otras partes del mundo, el bosque es un espacio masculino (FAO, 2007; Shackleton *et al.*, 2011; Mai *et al.*, 2011). "Aquí... mayormente los hombres son los que conocen el bosque, porque van a... trabajar... a cortar pino o a sembrar... cortan ramas de encino... ellos son los que conocen más el bosque que las mujeres pues, las mujeres casi no, no van al bosque". Por el contrario, el espacio de trabajo de las mujeres es la casa, donde la multiplicidad de actividades que realizan diariamente les deja poco tiempo libre (Leach, 1994). Las mujeres de SMM "deben de estar pendientes de las tortillas, comida, que no falte nada en la cocina... los hombres... nomás llegan... quiero mi comida y a comer, no, todo, así es, la vida de los hombres es más fácil que la de las mujeres". Las viudas extraen poleo de las zonas más cercanas al pueblo: "donde está más cerca, pues se acaba, porque las personas van a cortarlo". Acuden acompañadas, de manera poco frecuente y para extraer cantidades pequeñas debido a las limitaciones para cargar. "Vamos con los niños a veces, pero a veces, pues ese no es trabajo de diario". "Una brazada así nomás... lo que aguante a cargar, como no tengo hombre pa' que lo cargue bastante".

Las diferencias de género en el acceso al poleo son expresiones del orden de género que predomina en SMM. Como planta de alto valor cultural, se utiliza para celebrar la renovación del cabildo y el CBC (ambos poderes masculinos) y las autoridades permiten y organizan su extracción, que de hecho constituye una responsabilidad masculina para con la comunidad. Al mismo tiempo, se reconoce al poleo como un RFNM femenino y se autoriza su extracción para la venta cuando el hombre falta en casa. Las mujeres acuden a parajes cercanos, mientras que



los hombres van a los más altos donde se encuentra poleo en mayor cantidad y calidad. Los hombres disponen de camioneta, las mujeres sólo de burro o de su espalda para cargar las ramas. Para la fiesta de año nuevo, los hombres extraen hasta doce brazadas; para la venta, las mujeres obtienen, cuando mucho, tres.

La falta de claridad en periodicidad y cantidades en el caso de las viudas ilustra la fragilidad de sus derechos sobre el poleo, ya que estos se definen en ámbitos de toma de decisiones totalmente masculinos. Otro ejemplo de las dificultades que enfrentan las mujeres respecto al uso de los recursos se refiere al tema del agua. Estudios realizados en otras comunidades forestales describen la prohibición de utilizar agua del pueblo para lavar ropa (es forzoso ir al río) o cortar árboles para obtener leña: se "puede ir a la montaña a cortar leña, pero solo las ramas, árboles caídos y troncos secos. Un árbol entero solo lo pueden autorizar los directivos de la parcialidad" (testimonio citado en Gramajo, 1997:82). Sobra decir que las mujeres son las principales responsables de lavar ropa y conseguir leña, y que estas disposiciones, tomadas sin su participación, hacen más arduas sus labores. Es esencial encontrar fórmulas donde la sustentabilidad no implique la exclusión de los principales usuario/as de los recursos.

Trueque y comercio de poleo: aportes femeninos al bienestar familiar

El mercadeo del poleo sigue dos rutas; en la primera se intercambia por productos de consumo alimenticio y, en la segunda, por dinero en efectivo. A su vez, esta última puede tomar dos formas: comercializar manojos sin un encargo previo o atender pedidos específicos, los cuales en general se hacen para bodas o fiestas comunitarias.

Los principales puntos de trueque o venta son Ayoquezco de Aldama, Zimatlán de Álvarez, Ocotlán de Morelos, Santiago Apóstol, San Antonino Castillo Belasco e incluso la ciudad de Oaxaca. En las tres modalidades, el mercadeo es realizado por mujeres, situación constatada en muchos trabajos sobre RFNM realizados en México y otras partes del mundo (Leach, 1994; Marshall *et al.*, 2006; Djoudi y Brockhaus, 2011; Mai *et al.*, 2011; Mukasa *et al.*, 2012; Banana *et al.*, 2012).

Según Seligmann (2001), las labores femeninas de venta son una extensión de sus roles domésticos que hacen posible la supervivencia de su familia, entendida no sólo como cuidado físico sino también como generación de ingresos, particularmente en un contexto de escasez económica. El papel de "madres" se realiza tanto en casa como en sitios de venta. La ideología de género se transfiere a los espacios del mercado. Los hombres, como principales proveedores, generalmente tratan de insertarse en actividades mejor pagadas (Leach, 1994). Es así que en la cultura zapoteca de SMM, un hombre "ofreciendo" poleo es mal visto. "Los hombres casi nos da pena, 'ora sí, pa' cargarlo y ofrecerlo… es principalmente las mujeres". La venta de RFNM es considerada una actividad complementaria, inferior a otras que generan mayores ingresos y que generalmente se asocian a los hombres, por ejemplo la siembra de productos agrícolas (Schreckemberg *et al.*, 2006).

Esta situación ha hecho que los aportes del poleo al bienestar familiar sean invisibilizados, a pesar de que el trueque o comercialización de RFNM aporta diversidad a la dieta y muestra la amplia gama de actividades de subsistencia que existen en las comunidades forestales de diversas partes del mundo (Leach, 1994; Cabarle *et al.*, 1997; Wickramasinghe, 1997; De la Peña e Illsey, 2001). Las mujeres de SMM intercambian manojos de poleo por tortillas, tunas, limón, chayote, jitomate, cebolla, pan, tamales, atole, por mencionar sólo algunos de los productos vistos en los mercados o escuchados en las entrevistas (Figs. 8 y 9). Se trata de un ejercicio de reciprocidad que contribuye a la creación de redes femeninas y al fortalecimiento de la autonomía femenina en el ámbito doméstico, ya que reduce la dependencia de los recursos monetarios de otras personas (por ejemplo el esposo) (Leach, 1994; Seligmann, 2001). Esta actividad también funciona como una forma de ahorro al obtener productos de consumo doméstico que no se producen localmente sin tener que gastar el efectivo que las mujeres pudieran tener.

Cuando el poleo es traído para ofertarlo en la plaza, la calidad es una característica importante para su buena



FIGURA 8. Mujeres zapotecas de SMM y Ayoquezco de Aldama realizando el trueque.



FIGURA 9. Mujer zapoteca de SMM intercambiando poleo y duraznos.

comercialización; la clientela prefiere tallos derechos, con una longitud de 50 cm a 80 cm: "no le van a comprar los que están todos torcidos y feos, se fijan en los que están bonitos, pues, larguitos, bien cortados, en las puntas todas parejitas y eso es lo que se vende". Para mantener la calidad hasta la llegada al mercado es necesario cubrir al poleo con un plástico o follaje de helechos u otras hierbas. Las ramas se hidratan frecuentemente para que no pierdan turgencia. Para mejorar la presentación en el mercado, el poleo se arregla en manojos de cinco a seis tallos.

Los pequeños manojos de poleo se venden "a tres por diez, cinco pesos, depende de cómo esté y de cómo haya... en el mercado". La brazada cuesta $200,00 o $250,00 como máximo (pesos mexicanos). En los meses de octubre, noviembre y diciembre, las vendedoras combinan el ramo de poleo con flores silvestres (principalmente orquídeas) para otorgarle mayor presentación y mejorar el precio. Los mayores niveles de venta se realizan en días festivos como Día de Muertos, Navidad y Semana Santa.

El ingreso obtenido por la venta de poleo se utiliza para adquirir productos de consumo doméstico en el mismo mercado y regresar a la comunidad con ellos en lugar de con dinero en efectivo. Esta es una estrategia que utilizan las mujeres para mantener el control sobre sus ganancias, como lo han señalado Chávez y Zapata (1995) para otros contextos.

Cuando la venta es por pedido, la clientela deja "una señal" de $50,00 o $100,00. Se establece el acuerdo de cuándo y dónde se entregará el producto. Esta dinámica de venta presenta mejores oportunidades porque es segura, las cantidades solicitadas son mayores y el precio es más alto: "se usa mucho ora sí [que] en las fiestas, cuando te encargan, entonces sí es cuando le va bien al que corta, porque... son como de diez a quince tercios [brazadas] es cuando lo encarga". Sin embargo, el inconveniente es que las ventas de este tipo son esporádicas. En esta modalidad de venta sí participan algunos hombres ya que los ingresos obtenidos son más altos y la cosecha ocasional no trastoca sus otras labores ni su imagen como proveedor principal del hogar.

CONCLUSIONES

El poleo crece y se desarrolla de manera discontinua, bajo una cobertura de dosel cerrada, en suelos moderadamente ácidos y ricos en materia orgánica. Forma parte del sotobosque presente en las partes altas de las montañas donde predomina el bosque de encino y pino-encino. La altura a la cual se distribuye se caracteriza por presentar tempera-



turas frías la mayor parte del año. Esto sugiere que la especie prospera mejor a altitudes elevadas. Las partes altas son menos vulnerables a su extracción, en comparación con los parajes ubicados cerca de la comunidad. Quedan preguntas pendientes sobre el traslado a los solares, sobre todo porque se trata de una planta multipropósito que las mujeres aprecian tener a la mano.

La presencia de la especie en el territorio municipal no sólo depende de las condiciones ecológicas, sino también del manejo localmente implantado. Los saberes locales sobre las prácticas de aprovechamiento de la especie, se relacionan directamente con sus etapas de crecimiento. Durante la temporada de lluvias se permite que la planta rebrote para lo cual se disminuye al máximo su cosecha, esto permite el buen crecimiento y desarrollo de los brotes vegetativos; solo se cosechan los tallos bien desarrollados, en crecimiento vegetativo cuya longitud varía de 50 cm a 80 cm. Se evita al máximo cosechar tallos en floración para proteger la fase reproductiva y asegurar el desarrollo y maduración de semillas que garanticen la reproducción natural de la especie. El corte se realiza con la mano porque esto favorece el rebrote de la planta. También se constató que ciertas actividades (por ejemplo la roza para la siembra de maíz, la cosecha de madera) fomentan su crecimiento. Estos dos últimos temas requieren de mayor profundización en trabajos futuros.

Hombres y mujeres hacen distintos usos del poleo. Es una planta de uso ritual y ornamental utilizada en fiestas comunitarias como son: mayordomías, bodas, festividades navideñas y Año Nuevo. También se utiliza como alimento (té, condimento, verdura y agua fresca) y medicina para atender malestares estomacales, partos, fiebres y resacas. Los usos públicos (ritual y ornamental) son masculinos, debido a la asociación cultural entre los hombres y el espacio público. El uso doméstico y cotidiano del poleo es de las mujeres, porque son ellas las que guisan y están al cuidado de la salud familiar. En este sentido, los conocimientos culinarios del poleo son fundamentalmente femeninos. En los saberes curativos hay diferencias de género en lo que se refiere a los malestares que la planta puede controlar (resaca *versus* trabajo de parto) y de edad entre las mujeres. Esto es evidencia, una vez más, de la riqueza del sistema de saberes locales relacionados con la planta. Queda pendiente determinar con mayor exactitud las propiedades químicas que le dan sus capacidades curativas.

El uso que se le da al poleo está ligado a sus formas de acceso. Cuando se necesita para la fiesta de Año Nuevo, son las mismas autoridades masculinas quienes organizan la cosecha y reparten los ramos a los y las asistentes al evento, como un "símbolo de alegría". En otros casos, en particular si se es fuereño, es necesario solicitar autorización y/o pagar una cuota para cortar poleo bajo la supervisión de las autoridades. Las viudas de SMM son un grupo especial, ya que están autorizadas para cosechar poleo para el sustento, pero las cantidades y la regularidad no están bien definidas y mucho menos consensuadas con ellas. A partir de los testimonios se concluye que cosechan cerca del pueblo y en cantidades menores que los hombres que organizan fiestas porque, a diferencia de ellos, no disponen de camioneta sino sólo de burros o de sus propias espaldas para el traslado. Queda pendiente determinar el sistema de sanciones existente en caso de no acatar los acuerdos y su impacto en las actividades de extracción de hombres y mujeres.

Se detectaron tres formas de mercadeo: trueque, venta por oferta y por pedido. La primera y la segunda son realizadas por mujeres mientras que en la tercera participan algunos hombres dado su carácter esporádico y de mayores ingresos. El poleo ingresa al mercado regional de los Valles Centrales de Oaxaca con muy poco valor agregado y en pequeños volúmenes. Sin embargo, la planta constituye, como muchos otros RFNM, una de las pocas fuentes de ingresos que tienen las mujeres de SMM. Cuando es intercambiado por otros productos, contribuye a la diversidad dietética y al bienestar de las familias, dado el carácter eminentemente forestal de la comunidad.

Este trabajo aporta al conocimiento de los RFNM a través del análisis de los conocimientos locales y de los roles de género involucrados en el aprovechamiento de uno de los 1000 RFNM que se utilizan en el país. El poleo es de gran valor para los pueblos indígenas de Oaxaca y

otros estados. Sin duda, debe haber muchas más plantas cuyo valor ritual, ornamental, alimenticio y medicinal contengan sistemas de conocimientos y dinámicas de género específicas. Es indispensable hacer más investigación sobre ellas, caso por caso, para seguir deshilvanando las particularidades de cada una, y así poder formular políticas que visibilicen y atiendan por igual las necesidades de hombres y mujeres que habitan en las muy diversas comunidades forestales del país.

Referencias

Aguilar, L. 2007. ¿Por qué las mujeres están ausentes en el manejo y conservación de la Biodiversidad? *In*: L.M. Donato, E.M. Escobar, P. Escobar, A. Pazmiño y A. Ulloa, eds. Mujeres indígenas, territorialidad y biodiversidad en el contexto latinoamericano. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. p:223-230.

Aguilar-Ramírez, J.M. 2002. Especiación recombinacional y relaciones filogenéticas en *Satureja macrostema* var. *Laevigata*. Tesis de doctorado. Área de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad de Colima. Tecomán Colima, México. 140 p.

Aguilar, R.M., H.M. Muñoz, M. Hernández, M.A. Bello y R. Salgado. 2005. Observaciones fenológicas de *Satureja macrostema* (Benth.) Briq., en dos localidades de Michoacán, México. *Revista Ciencia Forestal en México* 29(96):91-109.

Ahenkan, A. y E. Boon. 2011. Non-timber forest products farming and empowerment of rural women in Ghana. *Environment, Development and Sustainability* 13(5):873-878.

Alexiades, M.N. y P. Shanley. 2004. Productos forestales, medios de subsistencia y conservación. *In:* M.N. Alexiades y P. Shanley, eds. Productos forestales, medios de subsistencia y conservación: estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables. Centro para la Investigación Forestal Internacional. Jakarta, Indonesia. p:1-22.

Alonso-Carrillo, N. 2009. Actividad antioxidante de *Satureja macrostema*. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. México D. F. 70 p.

Antinori, C. 2007. Integración vertical en las empresas forestales comunitarias de Oaxaca. *In:* D. Bray, L. Merino y D. Barry, eds. Los bosques comunitarios de México. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. p:303-342.

Banana, A., M. Bukenya, E. Arinaitwe, B. Birabwa y S. Ssekindi. 2012. Gender, tenure and community forests in Uganda. Working Paper 87, CIFOR. Bogor, Indonesia. 36 p.

Bray, D. B., L. Merino Pérez y D. Barry. 2007. El manejo comunitario en sentido estricto: las empresas comunitarias de México. *In*: D. B. Bray, L. Merino Pérez y D. Barry, eds. Los bosques comunitarios de México. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F. p: 21-49.

Cabarle, B., F. Chapela y S. Madrid. 1997. El manejo forestal comunitario y la certificación. *In*: L. Merino, ed. El manejo forestal comunitario en México y sus perspectivas de sustentabilidad. CRIM/UNAM, Cuernavaca, México. p: 17-33.

Challenger, A. y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres. *In*: J. Soberón, G. Halfter y J. Llorente-Bousquets, comps. Capital natural de México vol. I: conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, D. F. p: 87-108.

Chapela, G. y S. Madrid. 2007. Lineamientos básicos para una política forestal de Estado. *In*: J.L. Calva, ed. Sustentabilidad y desarrollo ambiental. UNAM, Cámara de Diputados y Miguel Ángel Porrúa, México D.F. p: 80-88.

Chávez, G. E. y E. Zapata Martelo. 1995. Mujer rural, comercio y conocimiento tradicional: el caso de las vendedoras de tempesquistle en los valles de Tehuacán, Puebla y Orizaba, Veracruz. *In*: E. Zapata, P. Alberti y M. Mercado, coords. Desarrollo rural y género. Avances y problemas de proyectos microeconómicos de mujeres. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. p: 20-45.

Conapo (Consejo Nacional de Población). 2011. Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. Consejo Nacional de Población. México, D. F. 310 p.

De la Peña, Gustavo y Catarina Illsey, 2001. Los productos forestales no maderables. Su potencial económico, social y de conservación. En La Jornada, http://www.jornada.unam.mx/2001/08/27/eco-a.html. Acceso 14 de junio de 2013.

De Walt, B.R. 1999. Combining indigenous and scientific knowledge to improve agriculture and natural resource



management in Latin America. *In*: F.J. Pichón, J.E. Uquillas y J. Frechione, eds. Traditional and modern natural resource management in Latin America. University of Pittsburgh Press, EUA. p:101-121.

Djoudi H. y M. Brockhaus. 2011. Is adaptation to climate change gender neutral? Lessons from communities dependent on livestock and forests in northern Mali. *International Forestry Review* 13(2):123-135.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. Gender mainstreaming in forestry in Africa. FAO, Forest Policy Working Paper 18, Roma, Italia. 53 p.

Gramajo, S.E. 1997. Autogestión comunitaria de recursos naturales. Estudio de caso de Totonicapan. FLACSO, Guatemala, Guatemala. 109 p.

INE (Instituto Nacional de Ecología). 2009. México: Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Semarnat e Instituto Nacional de Ecología, México. 274 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México D.F.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Miguel Mixtepec, Oaxaca, clave 20271. INEGI, México. 9 p.

Labrador Moreno, J. 2001. La materia orgánica en los agrosistemas. Ediciones Mundi-Prensa. España. 293 p.

Leach, M. 1994. Rainforest relations. Gender and resource use among the Mende of Gola, Sierra Leone. Smithsonian Institution Press, Washington D.C. 272 p.

Mai, Y.H., E. Mwangi y M. Wan. 2011. Gender analysis in forestry research. Looking back and thinking ahead. *International Forestry Review* 13(2):245-258.

Marshall, E., K. Schreckember y A. Newton. 2006. Introducción y marco del estudio. *In*: E. Marshall, K. Schreckember y A. Newton, eds. Comercialización de productos forestales no maderables. Factores que influyen en el éxito. PNUMA WCMC, Cambridge, Reino Unido. p: 12-20.

Martí, J. 2001. Nineteenth-century views of women's participation in Mexico's markets. *In*: J.L. Seligmann, ed., Women traders in cross-cultural perspective. Stanford University Press. Stanford, California, EUA. p:27-44.

Martínez, R. y O. Masera. 2012. Escenarios de mitigación de carbono hacia 2030. Contribución de las opciones del sector forestal en México. *In*: J.L. Calva, ed., Cambio climático y políticas de desarrollo sustentable. Juan Pablos y Consejo Nacional de Universitarios. México D.F. p:149-165.

Merino L., G. Ortiz y A. E. Martínez (en prensa). La producción forestal. *In*: L. Merino y G. Ortiz, coords. Encuentros y desencuentros. Las comunidades forestales y las políticas públicas en tiempos de transición. UNAM y Miguel Ángel Porrúa, México D.F. p:48-83.

Mukasa, C., A. Tibazalika, A. Mango y H. Muloki. 2012. Gender and forestry in Uganda: policy, legal and institutional frameworks. Working Paper 89. CIFOR, Bogor, Indonesia. 40 p.

Musálem, M.A. 2007. Políticas públicas para el desarrollo del sector forestal en México. *In*: J.L. Calva, ed. Desarrollo agropecuario, forestal y pesquero. Universidad Nacional Autónoma de México-Miguel Ángel Porrúa. México, D.F. p:333-347.

Pérez-Gutiérrez, R.M. 2012. Antihepatotoxic, nephroprotective, and antioxidant activities of phenolic compounds from *Satureja macrostema* leaves against carbon tetrachloride-induced hepatic damage in mice. *Medicinal Chemestry Research* 22(4): 1846-1855.

Quiroz, C. 1999. Local knowledge systems in Latin America: current trends and contributions toward sustainable development. *In*: F.J. Pichón, J.E. Uquillas y J. Frechione, eds. Traditional and modern natural resource management in Latin America. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, EUA. p:212-232.

Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski. 2010. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D. F. 975 p.

Sánchez Vélez, A. y R.M. García Núñez. 2008. La situación del subsector forestal en México ante el TLCAN, retos y oportunidades, 10 años después. *In*: J.A. Ávila, A. Puyana y J. Romero, eds. Presente y futuro de los sectores ganadero, forestal y de la pesca mexicanos en el contexto del TLCAN.

El Colegio de México y Universidad Autónoma Chapingo. México D.F. p:303-367.

Sandoval-Casilimas, C.A. 2002. Investigación cualitativa. Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior, ICFES. Bogotá, Colombia. 311 p.

Schmink, M. 1995. La matriz socioeconómica de la deforestación. *In*: M.F. Paz, ed. De bosques y gente. Aspectos sociales de la deforestación en América Latina. CRIM/UNAM. Cuernavaca, México. p:17-51.

Schreckemberg, K., E. Marshall y D. Willen te Velde. 2006. Comercialización de PFNM y pobreza rural ¿Más que una red de seguridad? *In*: E. Marshall, K. Schreckemberg y A.C. Newton, eds. Comercialización de productos forestales no maderables. Factores que influyen en el éxito. PNUMA WCMC. Cambridge, Reino Unido. p:76-82.

Schreckemberg, K. y E. Marshall. 2006. Los PFNM y las mujeres ¿Mejora el ingreso y la posición social? *In*: E. Marshall, K. Schreckemberg y A.C. Newton, eds. Comercialización de productos forestales no maderables. Factores que influyen en el éxito. PNUMA WCMC. Cambridge, Reino Unido. p:83-95.

Seligmann, L.J. 2001. Women Traders in Cross-Cultural perspective. Stanford University Press, Stanford California, EUA. 308 p.

Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2001. Norma Oficial Méxicana (NOM) NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Publicado en el diario oficial de la federación el 31 de diciembre de 2001. México D.F. 85 p.

Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. Programa de Manejo Forestal 2008-2018 de San Miguel Mixtepec, Oaxaca. Comisariado de Bienes Comunales de SMM-Semarnat.

Shackleton, S., F. Paumgarten, H. Kassa, M. Husselman y M. Zida. 2011. Opportunities for enhancing poor women's socioeconomic empowerment in the value chains of three African non-timber forest products (NTFPs). *International Forestry Review* 13(2):136-151.

Turner, B. L. 2008. Taxonomic status of *Clinopodium macrostemun* (Lamiaceae). *Phytologia* 90(3):411-413.

Umafor (Unidad de Manejo Forestal Regional). 2009. Estudio Regional Forestal. Unidad de Manejo Forestal Regional No. 2012, Sierra Sur, Zimatlán, Sola de Vega, Valles Centrales, A.C. Oaxaca. 453 p.

Valladares, F. 2006. La disponibilidad de luz bajo el dosel de los bosques y matorrales ibéricos estimada mediante fotografía hemisférica. *Ecología* (20):11-30.

Vázquez-García, V., L. Godínez-Guevara, M. Montes-Estrada, M. Montes-Estrada y A. S. Ortiz-Gómez. 2004. Los quelites de Ixhuapan, Veracruz: disponibilidad, abastecimiento y consumo. *Agrociencia* 38(4):445-455.

Villaseñor, J.L. 2010. El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. Conabio-UNAM. México, D.F. 40 p.

Wickramasinghe, A. 1997. Women, development and sectors pertaining to land and forestry. *In*: A., Wickramasinghe, ed., Land and Forestry. Women's local resource-based occupations for sustainable survival in South Asia. CORRENSA. Sri Lanka. p:1-50.

World Bank. 2009. Gender in Agriculture Sourcebook. The World Bank. Washington, DC. 764 p.

Manuscrito recibido el 19 de junio de 2013.
Aceptado el 11 de febrero de 2014.

Este documento se debe citar como:
Ortega-Ortega, T. y V. Vázquez-García. 2014. *Satureja macrostema*: situación ambiental, conocimiento local y roles de género. *Madera y Bosques* 20(2):71-86.



Correlation between chemical compounds and mechanical response in culms of two different ages of *Guadua angustifolia* Kunth

Correlación entre composición química y respuesta mecánica para dos edades de culmos de bambú *Guadua angustifolia* Kunth

Luz Adriana Sánchez-Echeverri[1], Giovanna Aita[2], Diana Robert[2] and Mario Enrique Rodriguez Garcia[3]

1 Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Universidad de Ibagué. Ibagué Tolima, Colombia. luz.sanchez@unibague.edu.co

2 Audubon Sugar Institute. Louisiana State University Agricultural Center

3 Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Querétaro, México.

Abstract

Wet chemical analysis was used to determine carbohydrate structural contents, as well as ash and extractive contents on four *Guadua Angustifolia* Kunth forms *(*f. Cebolla, f. Macana, f. Rayada Amarilla and f. Castilla*)* with two different growth ages (young and mature). Soluble and insoluble fiber content was determined by using AOAC 985.29 method. Bending tests were conducted in a universal testing machine following ASTM D143 standard method in order to determine modulus of rupture (MOR). Finally, a correlation between contents of chemical compounds and bending behavior (MOR modulus) was carried out with SPSS Statistical Package, version 7.0, obtaining Pearson's coefficient correlation and showing the relationship between soluble fibers and bending response for mature *Guadua* culms.

KEY WORDS: bamboo culms, Chemical composition, Fiber Content, Modulus of Rupture, Mechanical properties.

Resumen

Mediante un análisis químico, se determinó el contenido de carbohidratos estructurales, contenido de cenizas y el contenido de extractivos de cuatro formas de *Guadua Angustifolia* Kunth (f. Rayada Amarilla, f. Macana, f. Cebolla y f. Castilla), en dos edades de crecimiento diferente (joven y madura). Se determinó el contenido de fibra soluble e insoluble mediante el método oficial AOAC 985.29. Se realizaron ensayos de flexión, siguiendo el método estándar ASTM D143, para determinar el módulo de ruptura (MOR) en las cuatro variedades de *Guadua*. Por último, se realizó una correlación mediante el paquete estadístico SPSS versión 7, entre el contenido de compuestos químicos y la respuesta de flexión, obteniendo el coeficiente de correlación de Pearson. Se encontró una correlación entre el contenido de fibra soluble e insoluble y la respuesta de flexión (MOR) en las *Guaduas* con mayor edad de crecimiento (maduras).

PALABRAS CLAVE: tallos de bambú, composición química, contenido de fibra, módulo de ruptura, propiedades mecánicas.

Introduction

Bamboo is a fast growing plant (Porterfield, 1928; Liese and Hamburg, 1987), which grows naturally in all continents except Europe; however, most species are found in Asia Pacific and South America (Liese and Hamburg, 1987; Bystriakova *et al.*, 2003; Chaomao *et al.*, 2004). Some species can tolerate temperatures between 40 °C and 50 °C, whereas others can withstand snow or even temperatures of severe frost. Bamboo plays an essential role in the daily lives of millions of people in subtropical and tropical regions; even in some countries like Japan, bamboo has become an important natural material and it is widely used for many purposes. There are many bamboo species; one of the most important species that grows in Central and South America is called *Guadua;* this bamboo species is higher and thicker than Asian bamboo species.

All bamboo species are composite natural materials, whose culms are a vertical consecutive arrangement of nodes and internodes and their properties are mainly determined by their anatomy and chemical composition (Liese and Hamburg, 1987; Ghavami and Marinho, 2005). The total bamboo culm comprises about 50% parenchyma, 40% fibers, and 10% conducting tissue (Liese, 1998), some percentage variations exist according to species, however, all of them have a unique distribution pattern within a culm. The distribution pattern consists of long-fiber aligned cellulose embedded into a lignin and hemicellulose matrix; these fibers do not have a homogenous content within the bamboo culm and it has been recorded that the fibers increase from the inner to the outer wall (Grosser and Liese, 1971), as well as from bottom to top and this distribution affects the mechanical behavior (Mohan and Mohana, 2007; Gyansah *et al.*, 2010). It is well known that the fibers in Asian bamboo culms are grouped into cup shapes of around 1,5 mm to 4,5 mm-long conductive tissue (Porterfield, 1928). This arrangement is quite characteristic of various bamboo species, including *Guadua*. Knowledge of Asian bamboo fibers has permitted using these fibers mainly in pulp paper and textile industries (Ning y Yang, 2007; Oda, 2003; Hammett *et al.*, 2005); nevertheless, nowadays bamboo fibers have become an important alternative in the research of reinforced composite materials with natural fibers (Ghavami, 2005). That knowledge permits finding in this plant a good material for several necessities like housing, food, furniture, toys, apparel, and paper, among others.

The useful life of bamboo as a plant is around three years and it is possible to find different applications, which are correlated with its age. Young culms are commonly used in food, while the older bamboo culms are used as construction building material (Van der Lugt *et al.*, 2006), but in some applications such as textile, pulp paper, and handicrafts among others, bamboo culm age does not matter. Another important aspect to determine uses for bamboo species is related to their chemical composition. Fiber content and chemical composition has been studied on Asian and Japanese bamboo species and their variation with age and height have also been determined by different authors (Liese and Weiner, 1996; Low *et al.*, 2006; Lybeer and Koch, 2005) and these studies have permitted to consider this type of bamboo as an alternative in biomass research and its application (Scurlock *et al.*, 2000). Despite, all the information about Asian and Japanese bamboo species, *Guadua* has not been studied in detail and no reports exist of its chemical composition or its mechanical behavior.

Objective

The objective of this work is to present a complete chemical composition of four *Guadua* bamboo culms to increase future research areas with this kind of bamboo. Moreover, the present work seeks to provide results from a regression analysis between chemical composition and bending behavior.

Materials and methods

Description of samples

Bamboo samples came from an experimental field located in Armenia, Quindío (Central region of Colombia). All



the specimens were oven dried at 40 °C for 8 h to reduce moisture content and decrease microorganism proliferation. The culms of these kinds of bamboo are hollow in the center and the distance between the internal to external wall is on average 1,5 cm; the *Guadua* bamboo culms are separated by nodes and internodes, as shown in figure 1. In this work, bamboo samples were taken from the bottom culm and were classify as mature for culms with 4 years and young for culms with 2 years.

Wet chemical composition analysis

All bamboo samples were analyzed by using standard biomass analysis by the National Renewable Energy Laboratory (NREL) with laboratory analytical procedures (LAPs) for whole biomass analysis, as listed:

- NREL/TP-510-42620 Preparation of Samples for Composition Analysis
- NREL/TP-510-42619 Determination of Extractives in Biomass
- NREL/TP-510-42622 Determination of Ash in Biomass
- NREL/TP-510-42618 Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass

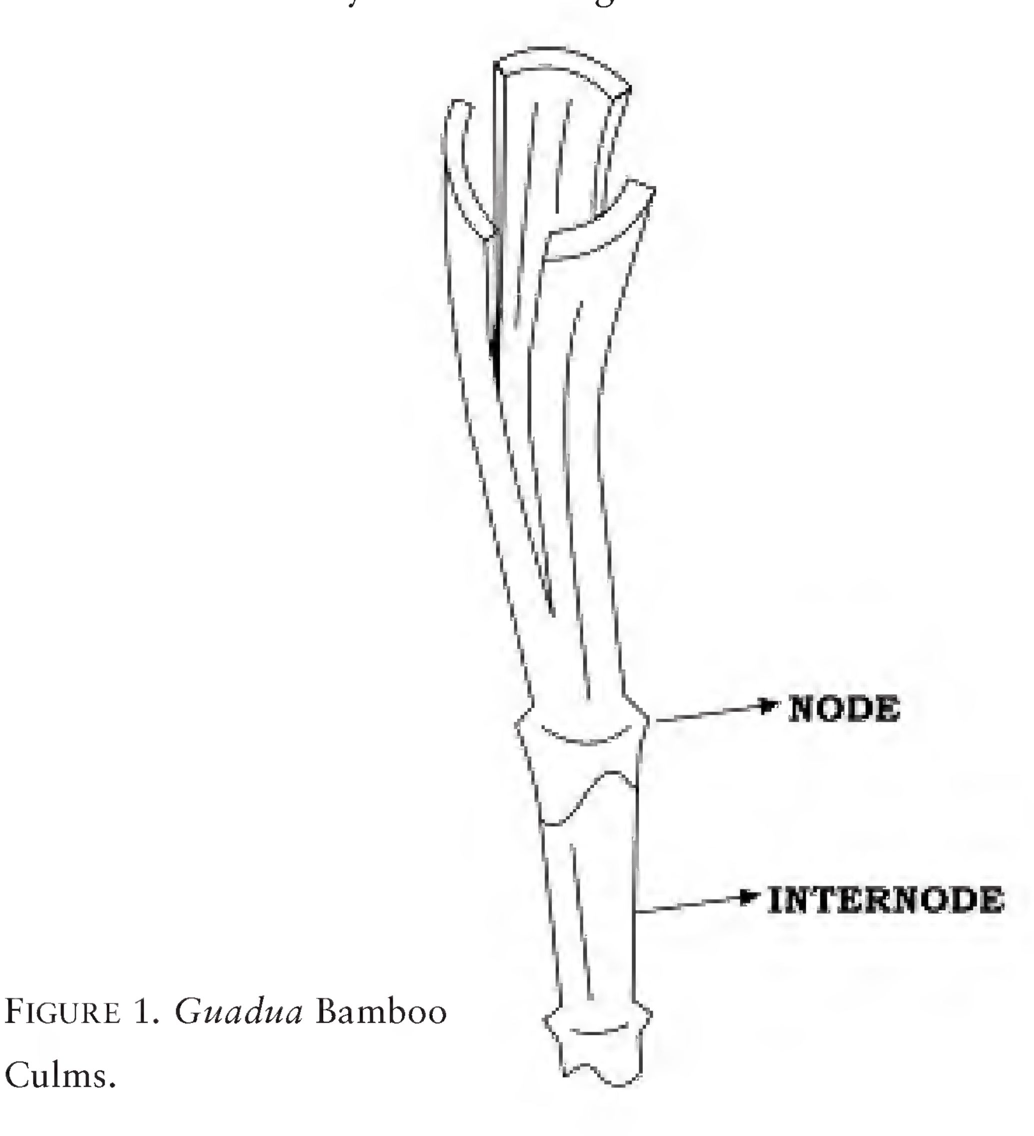


Figure 1. *Guadua* Bamboo Culms.

US National Institute of Standards and Technology (NIST) Bagasse Standard Reference Material # 8491 was analyzed with each batch of bamboo samples, as a quality-assurance reference for determination of extractives, lignin, and carbohydrates. Aqueous and ethanolic extractions were performed in duplicate on the milled, homogenized samples. Each extractive-free sample was analyzed in duplicate for lignin and carbohydrate content, giving a total of four separate determinations for each bamboo sample. Direct measurement of the protein content in these samples was not performed, but the protein content can be estimated from the nitrogen elemental analysis (Phillips,1939) and varies only slightly with age in the range of 1,4% - 3,8%

Soluble and Insoluble Fiber content

Insoluble fiber determination was performed by using the standard Method AOAC 985.29 (AOAC, 2000). All measurements were done in triplicate.

Bending test

The bamboo samples were tested by following the ASTM D143-94 (ASTM, 2007) standard test method, modified accordingly, to accommodate the specific characteristics of the bamboo specimens, in a universal machine (INSTRON 4401). The load was applied on the transverse surface with a crosshead speed of 0,5 mm/min (Fig. 2). The specimens were cut as strips and its size was set at 160-mm length and 10-mm width, and thickness was determined with each culm thickness. The Modulus of Rupture (MOR) was obtained in triplicate for each bamboo sample.

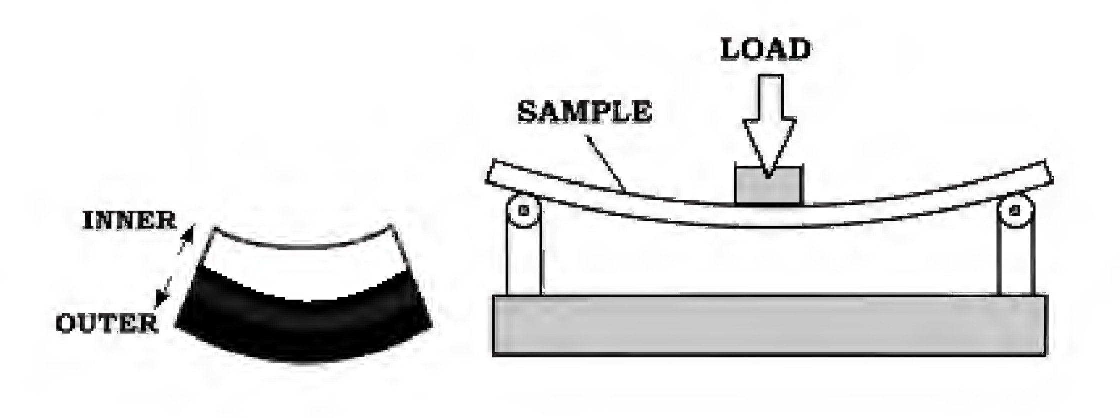


Figure 2. Load applied in *Guadua bamboo* culms.

Regression

Statistical analysis was performed with the STATGRAPHICS 5.1 Plus Statistical Package to obtain Pearson's correlation coefficient. Five variables were used and the multiple linear regression analysis was made among Insoluble Fiber, Soluble Fiber, Lignin, Cellulose, and Hemicellulose with the MOR.

Results

Chemical composition

Table 1 shows the complete wet chemical analysis (soluble fiber) of all the *Guadua b*amboo specimens in mature and young culms. Total mass for all specimens is close to 90% or above, indicating that the analysis was complete and no significant biomass fractions were lost. The direct protein measurement was not performed, but protein content could be obtained by nitrogen element analysis and did not have significant variation (Phillips, 1939). Higuchi (1957) measured chemical composition for different kinds of Asian bamboos and found a similar chemical composition to *Guadua* bamboo chemical composition. Scurlock *et al.* (2000) reported a wet chemical composition analysis for a Japanese bamboo; these results are close in value to *Guadua* bamboo chemical composition analysis.

Lignin content values for *Guadua* are between 23% and 27%; meanwhile, Scurlock reported a range between 24% and 37% for softwoods (Scurlock *et al.*, 2000), suggesting that *Guadua* bamboo has similar physical properties and can be used as conventional softwood. On the other hand, a Cellulose content of 37% - 44% and a hemicellulose content of 13% - 20% for *Guadua* bamboo could be compared to cellulosic biomass feedstock with a content of 35% - 50% for cellulose and 10% - 40% for hemicellulose (McKendry, 2002). It placed *Guadua* bamboo as natural material comparable to biomass feedstock in which its high cellulose/hemicellulose content could be used for ethanol and paper production.

Soluble and Insoluble fiber

Soluble and Insoluble fiber are the total fiber content and each is made up of complex carbohydrates, including cellulose, hemicellulose, and lignin (Selvendran, 1984). The fiber content was determined for all samples in mature and young culms. Figure 3 shows the insoluble and soluble total fiber content per specimen. It is possible to see that for all samples the main fiber content is insoluble fiber.

From the ANOVA statistical analysis, it is possible to establish that the insoluble and soluble fiber content for some varieties do not have significant differences. It is also possible to see that, in general, the insoluble fiber content exhibit a small decrease in samples with age, while soluble fiber exhibit a high increases with age. Total fiber content is an important test that provides information related to each *Guadua* bamboo variety and it is possible to establish the potential uses of this kind of bamboo. The results shown in this figure correspond to five measurements per specimen.

TABLE 1. Wet chemical composition analysis in *Guadua* Bamboo samples on two different ages.

	AGE	*ASH*	*EXT ET*	*LIGNIN*	*GLUCOSE*	*XILOSE*	*ARABI-*	*MANOSE*	*Total*
Macana	Young	2,68	1,92	23,06	47,80	15,85	2,18	0	93,50
	Mature	0,92	2,33	20,21	47,43	18,08	2,61	0	91,60
Cebolla	Young	2,56	1,66	27,75	49,17	15,64	2,15	0	98,93
	Mature	2,30	1,92	25,41	45,83	13,34	1,61	0	90,41
Rayada	Young	1,86	2,17	24,33	52,49	14,14	1,91	0	96,90
	Mature	1,43	3,08	22,13	48,41	13,06	1,74	0	89,85
Castilla	Young	2,93	1,42	26,33	50,26	15,85	2,22	0	99,01
	Mature	1,44	2,46	23,86	46,30	14,24	1,89	0	90,19
NIST Baggase		3.33	2,29	25	41,16	22,58	2,75	0	97,11



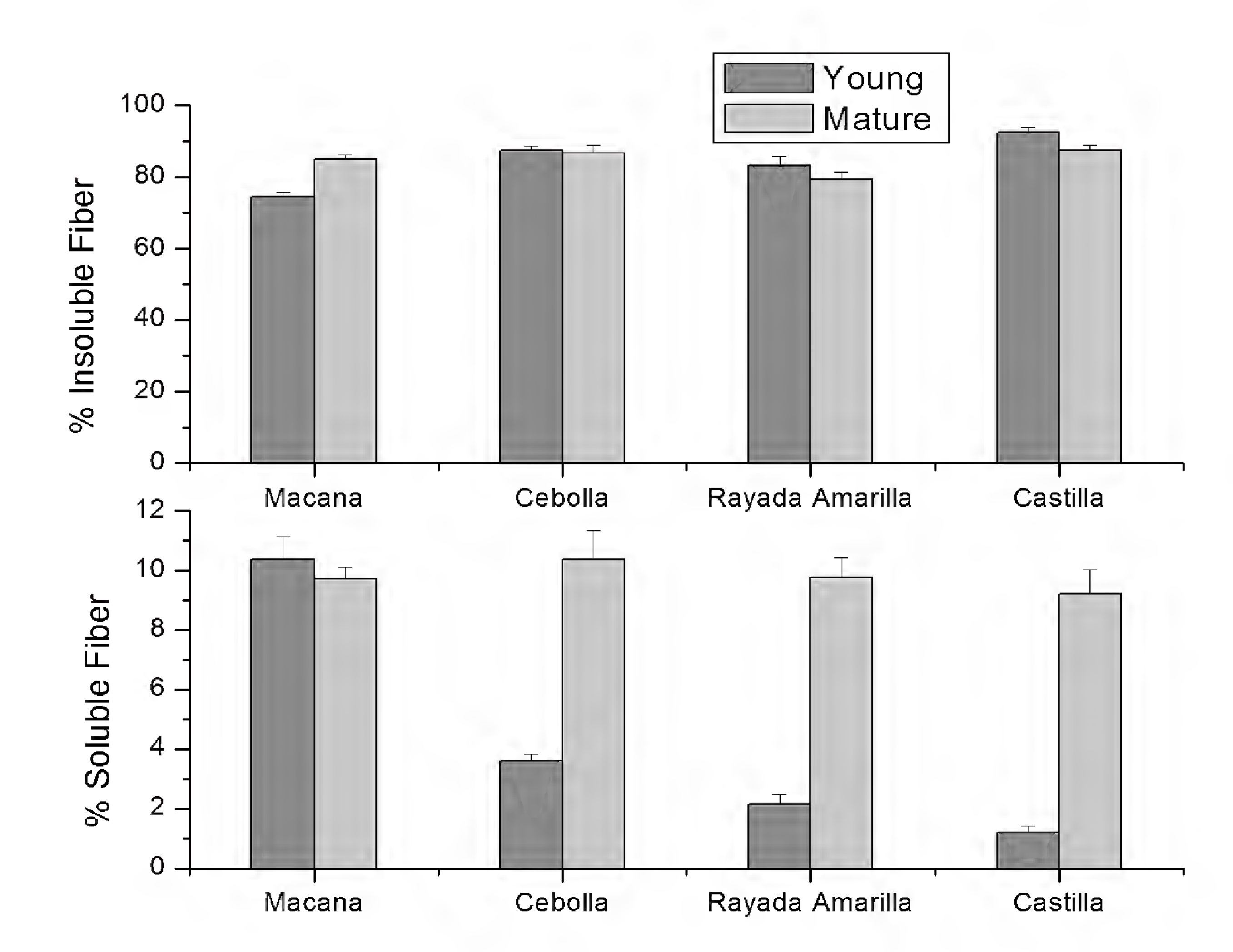


FIGURE 3. Fiber content for *Guadua* bamboo culms young (red) and mature (green).

Bending test

Failure of test specimens is associated to a common failure mode known as local crushing and this was identified in all specimens tested (Chung and Yu, 2000). Typical load deflection curves were obtained, as shown in figure 4.

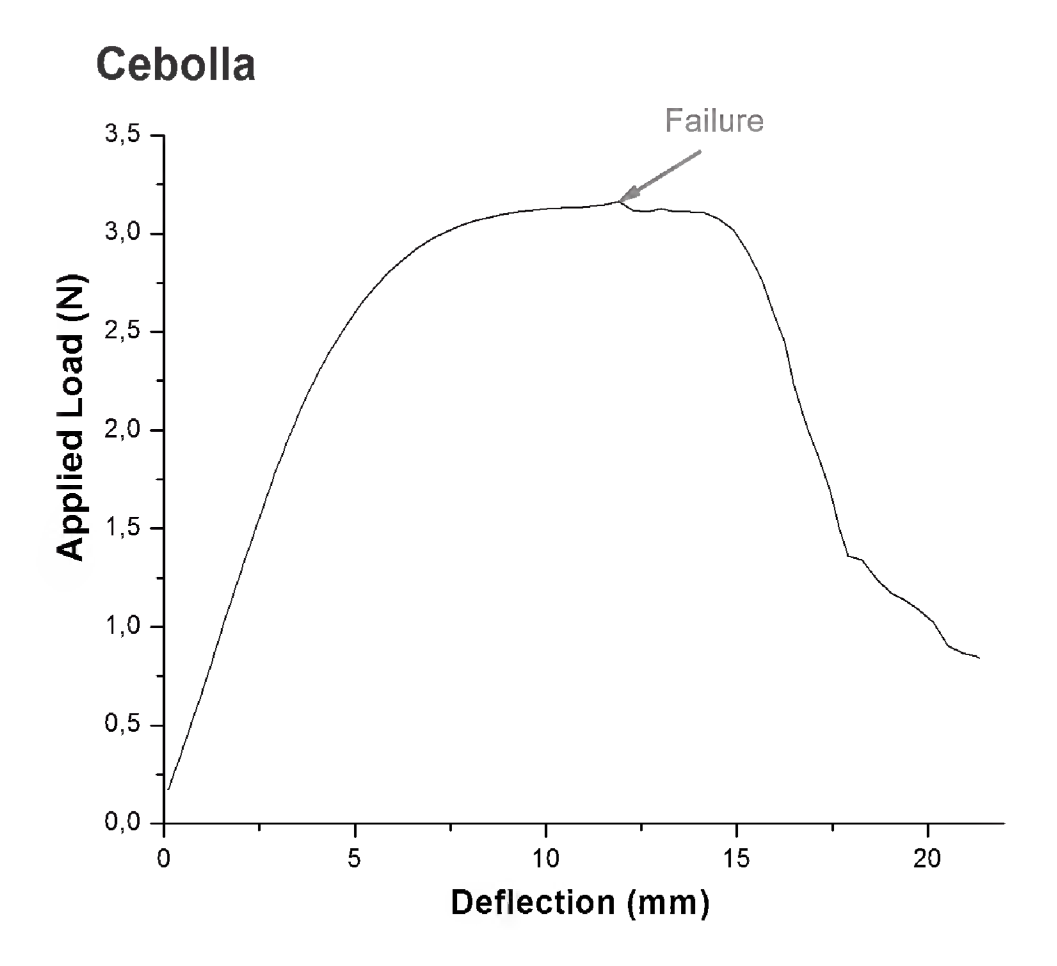


FIGURE 4. Deflection curve to *Guadua* bamboo culm.

Table 2 shows the MOR in each bamboo sample for mature and young culms; from the ANOVA statistical analysis, it is possible to establish that the MOR does not have significant differences in young culms. Decreased MOR with age is noted in most varieties; this decrease is above 50%. These results agree with those reported by Correal and Arbelaez (2010) who found that for *Guadua Angustifolia* Kunt all mechanical properties including MOR have a correlation with age; they showed that these mechanical properties decrease in old culms. In addition, variations in the chemical components could be correlated to the mechanical behavior (Sánchez-Echeverri *et al.*, 2010). The results shown in Table 2 correspond to three measurements per specimen.

TABLE 2. Rupture modulus (MOR) for each bamboo simples Young and mature culms.

	Modulus of Rupture MOR (N/mm²)	
	YOUNG	MATURE
Macana	96,87 ± 3,1[a]	43,73 ± 2,1[c]
Cebolla	127,39 ±6,4[a]	123,64 ± 6,2[a]
Rayada Amarilla	104,65 ±7,2[a]	141,71 ± 5,3[a]
Castilla	102,27 ±5,1[a]	80,37 ± 3,4[b]

Test were performed in triplicate. Mean ± SD values followed by the same letter in each column are not significantly different (P < 0,05).

Correlations

Table 3 shows Pearson's coefficient correlation between MOR and the chemical composition in each *Guadua* bamboo sample for mature and young culms. The bold number shows a highly significant Pearson's coefficient correlation with $p < 0,05$. These results indicated that only exists an inverse correlation among MOR and cellulose and hemicellulose content for mature culms, while young culms do not have any correlation. Genet, *et al.* (2005) related cellulose content with mechanical properties, they found a positive correlation between tensile strength and Cellulose, however; they did not separate Cellulose and Hemicellulose and that positive correlation is influenced by the high stiffness in the longitudinal direction of the cellulose fibers (Persson, 2000), nevertheless; there are no published data about bending behavior and chemical compounds content for transversal direction for those materials or *Guadua*. It is interesting that results shown here are against others previously published, despite there are not results presented specifically for *Guadua*, some results for materials composed mainly by cellulose, hemicellulose and lignin (fibrous ligno-cellulosic materials) as leaves and roots increase their mechanical properties with cellulose content (Angeles *et al.*, 2010; Genet *et al.*, 2005).

TABLE 3. Pearson coefficient correlation between chemical composition and Rupture modulus (MOR).

	Pearson coefficient correlation (r)	
	MOR YOUNG	*MOR MATURE*
Cellulose	0,7913	-0,6269
Hemicellulose	-0,0661	-0,8427
Lignin	0,4677	-0,2926
Soluble fiber	0,1654	0,2333
Insoluble fiber	0,3994	-0,4365

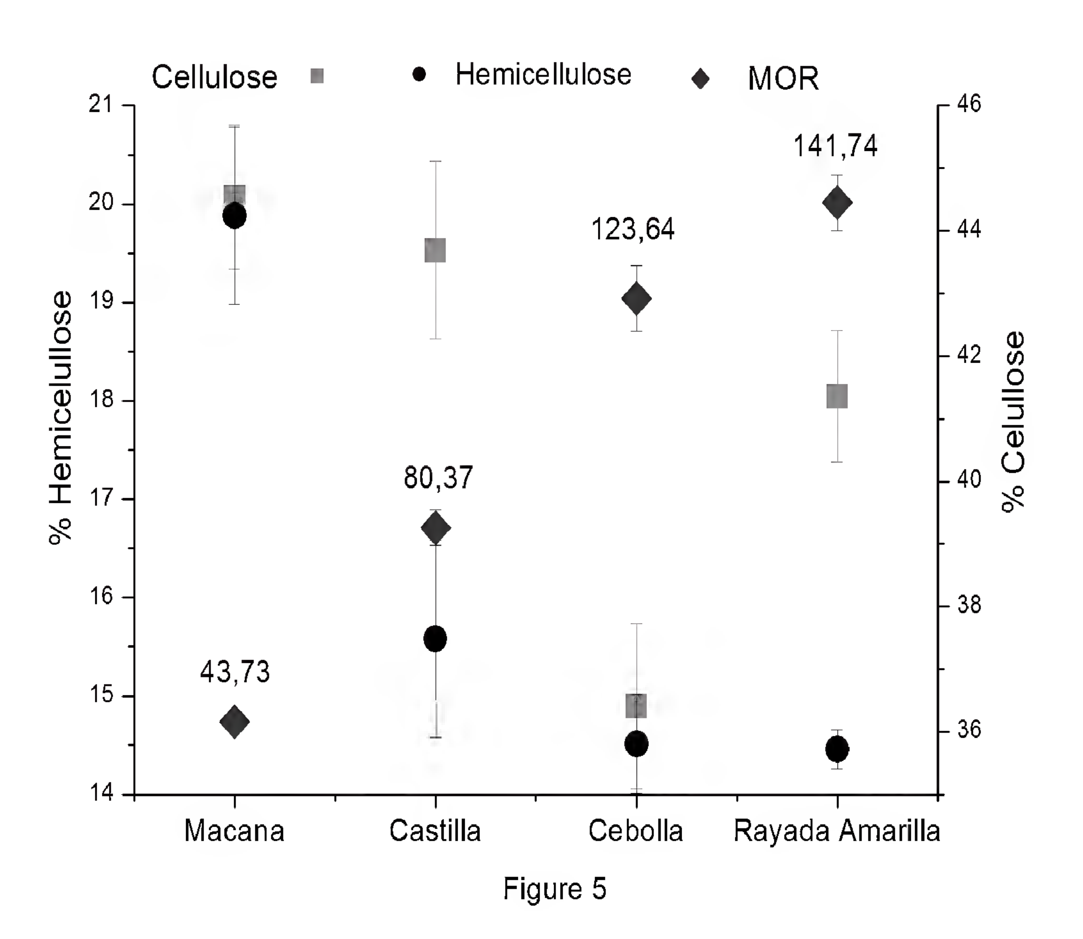


FIGURE 5. Chemical compounds and Rupture modulus for Mature *Guadua* bamboo culms.

Figure 5 shows cellulose, hemicellulose content, and MOR for mature *Guadua* bamboo culms. The MOR is influenced by content of cellulose and hemicellulose as expected in a composite material.

Conclusions

Wet chemical analysis (soluble fiber) for *Guadua* bamboo culms can be compared to results found for other kinds of Asian and Japanese bamboos, which currently have important applications. Although there is a variation in both soluble and insoluble fiber content with age, the variation in insoluble fiber is not significant, however; for the two *Guadua* ages analyzed, the main fiber content is insoluble fiber. The main chemical compounds that have an influence in the mechanical properties are Cellulose, Hemicellulose and Lignin whose elastic properties were described by Davalos-Sotelo (2005); for *Guadua* these were the main compounds found.

The hemicellulose and cellulose content has inverse proportionality with MOR for mature culms. As is well known, Cellulose fibers has a longitudinal orientation and hence Hemicellulose, which is a polysaccharide linked to cellulose also has the same general orientation;



the distribution ratio in these two principal compounds will have an effect in the bending behavior which was tested in transversal direction. The inverse correlation could be explained due the low stiffness strength of cellulose and hemicellulose on radial direction (Persson, 2000), hence a high content of both components results in a low MOR. Knowledge of chemical and mechanical properties and their relationship in *Guadua* bamboo is a base to develop studies with this plant and generate potential applications.

References

AOAC-2000 Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th ed. Method 985.29.

Angeles, G., M. Lascurain, R. Davalos-Sotelo, R.P. Zarate-Morales and F. Ortega-Escalona. 2013. Anatomical and physical changes in leaves during the production of tamales. *American Journal of Botany* 100(8):1509-1521.

ASTM D143-94. 2007. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA.

Bystriakova, N., V. Kapos, I. Lysenko and C.M.A. Stapleton. 2003. Distribution and conservation status of forest bamboo biodiversity in the Asia-Pacific region. *Biodiversity and Conservation* 12(9):1833-1841.

Chaomao, H., H. Jizhen, Z.Guoxue and Y. Yuming. 2004. Studies on the present situation and prospects of bamboo diversities and its sustainable development in China. *World Forestry Research* 2004(1):51-54

Chung, K.F. and W.K. Yu. 2002. Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. *Engineering Structures* 24(4):429-442.

Correal, J.F. and J. Arbealez. 2010. Influence of age and height position on Colombian *Guadua angustifolia* bamboo mechanical properties. *Maderas. Ciencia y tecnología* 12(2):105-113.

Davalos-Sotelo, R. 2005. Determination of elastic properties of clear wood by the homogenization method in two dimensions. *Wood Science and Technology* 39:385-417.

Genet, M., Stokes, A., Salin, F., Mickovski, S.B., Fourcaud, T., Dumail, J-F. van Beek., R. 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. *Plant and Soil* 278(1-2):1-9.

Ghavami, K. 2005. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *Cement and concrete composites* 27(6):637-649.

Ghavami, K. and A.B. Marinho. 2005. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9(1):107-114.

Grosser, D. and W. Liese. 1971. On the anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles. *Wood Science and Technology* 5:290-312.

Gyansah, L., A.S. Akinwonmi and M. Affam. 2010. The fracture behaviour of fresh bamboo under uniaxial compressive loading condition. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 2(8):720-726.

Hammett, A.L., L. Robert, L. Youngs, X. Sun and M. Chandra. 2005. Non- wood fiber as an alternative to wood fiber in China pulp and paper industry. *Holzforschung* 55(2):219-224.

Higuchi, H. 1957. Biochemical studies of lignin formation, III. *Physiologia Plantarum* 10(4):633-648.

Liese, W. 1998. The anatomy of bamboo culms, Technical report. International network for bamboo and rattan (INBAR). BRILL. 208 p.

Liese, W. and F.R.G. Hamburg. 1987. Research on bamboo. *Wood Science and Technology* 21(3):189-207.

Liese, W. and G. Weiner. 1996. Ageing of bamboo culms, A review. *Wood Science and Technology* 30(2):77-89.

Low, I.M., Z.Y. Che and B.A. Latella,. 2006. Mapping the structure, composition and mechanical properties of bamboo. *Journal of Material Research* 21:1969-1976.

Lybeer, B. and G. Koch. 2005. A topochemical and semiquantitative study of the lignifications during ageing

of bamboo culms (phyllostachysviridiglaucescens). *IAWA Journal* 26(1):99-109.

McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83(1):37-46.

Mohan, K.M. and K. Mohana. 2007. Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo. *Composite Structures* 77(3):288-295.

Ning, L. and B. Yang. 2007. Characteristics of bamboo fiber and its application. *Progress in Textile Science & Technology* 2007(3):15-17.

Oda, T. 2003. Yam and cloths made mainly from bamboo sheaths and methods for manufacturing the same, United States Patent application. Publication number US7060211 B2, Application number US 10/222,839.

Persson, K. 2000. Micromechanical modeling of wood and fiber properties. Ph.D. dissertation, Lund University, Lund-Sweden.

Phillips, M. 1939. Studies on the quantitative estimation of lignin. IV Effect of certain proteins on the determination of lignin by the fuming hydrochloric acid method. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists* 22: 422-427.

Porterfield, W.M. 1928. A study of the grand period of growth in bamboo. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 55(7):327-405.

Sánchez-Echeverri, L.A., M. Contreras-Padilla and M.E. Rodriguez-Garcia. 2010. A correlation between soluble and insoluble fiber with the elastic modulus in four varieties of bamboo. Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 1277. Materials Research Society Symposium Proceedings 1277 p: 46-51.

Scurlock, J.M.O., D.C. Dayton and B. Hames. 2000. Bamboo: an overlooked biomass resource?. *Biomass and Bioenergy* 19(4):229-244.

Selvendran, R.R. 1984. The plant cell as a source of dietary fiber: Chemistry and structure. *American Journal of Clinical Nutrition* 39(2):320-337.

Van der Lugt, P., A.A.J.F. Van de Dobbelsteen and J.J.A. Janssen. 2006. An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials* 20(9):648-656.

Manuscrito recibido el 19 de junio de 2013.
Aceptado el 11 de febrero de 2014.

Este documento se debe citar como:
Sánchez-Echeverri, L.A., G. Aita, D. Robert and M.E. Rodríguez-García 2014. Correlation between chemical compounds and mechanical response in culms two different ages of *Guadua angustifolia* Kunth. *Madera y Bosques* 20(2):87-94.

Madera y Bosques vol. **20**, núm. **2 : 95-110** Verano **2014**



Comparative wood anatomy of *Maytenus* in Northwestern Argentina (South America)

Anatomía comparada del leño de *Maytenus* en el Noroeste de Argentina (Sudamérica)

Ana María Giménez[I], Juana Graciela Moglia[I], M.E. Figueroa[I], J.A. Díaz Zírpolo[I] and Federico Calatayu[I]

I LAM (Laboratorio de Anatomía de Madera) Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Argentina. amig@unse.edu.ar

Abstract

This paper is a comparative wood anatomy study of four species of the genus *Maytenus* living in Northwest Argentina: *Maytenus vitis-idaea, M. viscifolia, M. spinosa and M. cuezzoi*. The specimens were collected in Santiago del Estero and Salta, Argentina and wood samples are safeguarded in the collection of the LAM (Laboratory of Wood Anatomy), Faculty of Forestry of Santiago del Estero University (UNSE), Argentina. The terminology used followed the IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification. The diagnostic features of wood anatomical characters were evaluated by employing statistical methods such as Cluster Analysis (CA) and Principal Component Analysis (PCA). PCA showed vessel diameter, fibre wall, and ray width to be significant variables. CA showed *M. cuezzoi and M. viscifolia* to have the highest affinity.

Key words: Celastraceae, Chaco, Hardwoods, Santiago del Estero.

Resumen

El presente trabajo es un estudio de anatomía comparada de madera de cuatro especies del género *Maytenus* del Noroeste Argentino: *Maytenus vitis-idaea, M. viscifolia, M. spinosa y M. cuezzoi*. Las muestras fueron recolectadas en Santiago del Estero y Salta, Argentina y se salvaguardan en la colección del LAM (Laboratorio de Anatomía de Madera), Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Santiago del Estero (UNSE), Argentina. Se empleó la terminología de IAWA (Lista de caracteres anatómicos del xilema de angiospermas). Los caracteres anatómicos de madera fueron evaluados mediante métodos estadísticos tales como análisis de conglomerados (AC) y el Análisis de Componentes Principales (PCA). El PCA mostró como variables significativas el diámetro de vasos, el espesor de pared de las fibras y el ancho de radios. El CA mostró que *M. cuezzoi y M. viscifolia* tienen alta afinidad específica.

Palabras clave: Celastraceae, Chaco, angiospermas, Santiago del Estero

Introduction

Celastraceae is a widely distributed family in the world, comprising 57 genera with 370 species in both hemispheres. There are several indigenous representatives in Argentina. They are usually small trees or shrubs (Dimitri, 1972). Celastraceae stem xylem anatomy has been described by Record and Hess (1943), Mennega (1997), Archer and Van Wyk (1993a). Mennega (1997) analyzed the anatomy of the subfamily Hippocrateoideae, which is distinguished by thin, long rays. Record and Hess (1943) studied the Genera: *Celastrus*, *Zinowiewia*, *Elaeodendron*, *Goupia*. Archer and Van Wyk (1993a; 1993b) made a comparative anatomical study of mature wood and bark of the subfamily Cassinoideae, comprising mainly southern African species of *Cassine*, *Pleurostylia* (17) and the three monotypic genera, *Allocassine*, *Hartogiella* and *Maurocenia*.

Metcalfe and Chalk (1983) recorded the presence of numerous small vessels, solitary, in radial multiples of 2-3, ring and semi-ring porous, occasionally with helical thickenings, simple perforation plate, alternate intervascular pits, very small, members of vessels of medium length to moderately long, are typical features. Very weakly defined vestures were seen in Celastraceae (Archer and Van Wyk, 1993a).

Rays are described in some genera to be exclusively uniseriate and homogeneous, in other heterogeneous multiseriate (3-4).

Maytenus is a genus of temperate and warm regions of South Asia (Yemen, Malaysia and Thailand), Africa (Canary Islands, northwest and northeast Ethiopia, and South Africa), and America from Mexico to Tierra del Fuego. It grows in a variety of climates, from tropical (77 sp. in Brazil) to subpolar (Hurrel and Bazzano, 2003).

In Argentina the Genus *Maytenus* comprises about eleven native species. Three are endemic shrubs and small trees (Boelke, 1992), distributed in the subtropical wet forest of Misiones, Yungas, Chaco semiarid forest and Patagonian Andean temperate forests (Zuloaga and Morrone, 1999).

Maytenus boaria (Maitén) is the most important tree of Patagonian Andean forests (Lourteig and Odonell, 1955). The species is used as a natural dye and its branches are an important source of foliage for sheep in the steppe (Tortorelli, 2009). *M. spinosa, M. viscifolia* and *M. vitis-idaea* are species of the semiarid forest of the Chaco region. They are indicative of saline soils and semiarid areas. Giménez and Hernández (2008) found *M. spinosa* in 50% of the areas studied in Santiago del Estero, Province, *M. vitis-idaea* in 36% of them, and *M. viscifolia* at only one site (Sierras de Guasayan). Their uses include dye, fodder, food and to a lesser extent, as timber depending on the size of their trunks (Giménez *et al.*, 2010). *M. cuezzoi* is a threatened endemic species (Cat. 5: restricted distribution plant and sparse populations with restricted distribution and sparse populations).

For the genus *Maytenus*, the outstanding features of the wood are: diffuse porous, small vessels, very numerous (20-40), solitary and in radial multiples, and sometimes helical thickenings. Axial parenchyma is very variable in type and number, commonly scattered or absent, diffuse and multiseriate or thin bands (Metcalfe and Chalk, 1983). Vessels with helical thickenings were cited *M. boaria* (Tortorelli, 2009).

Rays are heterogeneous, frequently with 2-4 vertical rows of cells, 1 to 3 seriate, less than 12/mm (Metcalfe and Chalk, 1983); *M. boaria* (-9 ray/mm) with 3-4 seriates (Tortorelli, 2009).

Mechanical tissue is composed of fibre with distinctly bordered pit (fibre-tracheids), numerous, occasionally septate fibres with simple pits, of medium length, sometimes with helical thickenings (Metcalfe and Chalk, 1983). Is characterized by fibres dimorphic (bands of thick-walled fibres with bordered pits alternating with septate and thin-walled fibres with minutely bordered pits), resembling the axial parenchyma (Joffily *et al.*, 2007).

Fibres with distinctly bordered pits were cited in *M. boaria* (Tortorelli, 2009), *M. acuminata* (Metcalfe and Chalk, 1950), *M. micrantha* (Detienne and Jacquet, 1983).

Fibre-tracheids are elements of transition between tracheids and fibres. They are characterized by the presence of bordered pits, generally located in the radial walls, present in Apocynaceae, Celastraceae (some Genera) Myrtaceae, Sapotaceae, Zygophyllaceae among others. Carlquist (1988) described the imperforate tracheal elements of *Catha, Elaeodendron, Celastrus* and *Maytenus* as septate libriform fibres, septate fibre-tracheids and vasicentric tracheids.

Fibre-tracheid has been cited as an adaptive strategy in species of arid and semiarid areas, such as *Aspidosperma quebracho-blanco* (Apocynaceae) (Moglia *et al.*, 2009); *Monttea aphylla* (Scrophulariaceae) (Giménez *et al.*, 1998); *Tabernaemontana catharinensis* (Apocynaceae) (Giménez, 2004). Carlquist and Hoekman (1985) cite the presence of fibre-tracheids as typical element of the arid flora of California.

Several African species have been described anatomically: *M. acuminata* (Metcalfe and Chalk, 1950); *M. micrantha* (Detienne and Jacquet, 1983), *M. senegalensis*



(Neumann *et al.*, 2000). Perforated ray cells (PRC) are present in the stem xylem and in the roots of *M. brasiliensis* and *M. obtusifolia* (Joffily *et al.*, 2007).

Sokal and Rohlf (1981) have shown the importance of multivariate statistical techniques in numerical taxonomy. Using multivariate techniques, Robertse *et al.* (1980) solved problems in variation of wood anatomical characters of South African *Acacia*. Somaratne and Heart (2001) established relationships among species of the genus *Calophyllum,* and Wickremasinghe and Heart (2006) did the same for *Diospyros*.

Materials and Methods

The aim of the study is to analyze the comparative wood anatomy of four species which are little known of northwestern Argentina: *Maytenus vitis-idaea*. Griseb.*; M. viscifolia* Griseb.*; M. spinosa* (Griseb.) Lourteig & O'Donell and *M. cuezzoi* Legname.

The characteristics of the species studied are:

Maytenus vitis-idaea Griseb. (monedita) is an unarmed shrub or small tree, 2 m - 5 m high and up to 0,2 m in diameter, with persistent, glabrous foliage. Its geographic distribution in Argentina is the Chaco region, in the following provinces: Jujuy, Salta, Tucumán, Santiago del Estero, Catamarca, La Rioja, San Juan, Formosa, Chaco, Corrientes, Santa Fe, and Córdoba (Legname, 1973). The plant is an indicator of saline soil, and the wood produces a dark reddish dye used to color wool, yarn, etc. (Giménez *et al.*, 2007). It is used as food for bees and farm animals, especially for goats at all times of year (Karlin, *et al.* 2010). The ash obtained from burning wood is used as salt for human consumption. It also has anti-inflammatory, disinfectant, astringent and ophthalmic uses. The chewed leaves are used to cure diseases of the mouth (Giménez *et al.*, 2010).

Maytenus viscifolia Griseb. (chasqui-yuyo) is an endemic unarmed shrub or small tree, 3 m - 7 m. tall, with a trunk up to 0,3 m in diameter, with persistent foliage. Its geographic distribution in Argentina is the semiarid Chaco region, in the following provinces: Salta, Tucumán, Santiago del Estero, Catamarca, La Rioja, Córdoba, San Juan (Gimenez and Moglia, 2003).

Maytenus spinosa (Griseb.) Lourteig & O´Donell (abriboca) is an endemic shrub with spiny branches and leathery leaves. It is native to Argentina and Uruguay (Digillio and Legname, 1966). The bark produces a pink brown dye (Stramiglioli, 2007).

Maytenus cuezzoi Legname (Legname, 1973; 1982) is an endemic unarmed tree, 3 m - 7 m tall and 0,25 m. in diameter at the base, with entirely glabrous pale green leaves, smooth bark, and red flowers. Its geographic distribution is the Yungas, in the temperate humid upper floor of the montane forest, between 1500 m and 2000 m altitude of the provinces of Salta and Jujuy. (Zuloaga and Morrone, 1999). The species has been found in the Los Toldos valley, Salta province, forming secondary forests dominated by *Ilex argentina, M. cuezzoi* and *Roupala* sp.; these associates indicate degraded forests (Brown and Grau, 2000). Samples were collected by the author of the species, Prof. P. Legname.

We sampled the four species of *Maytenus* from different habitats of northwestern Argentina. *M. vitis-idaea* and. *M. spinosa* were collected in Tala Atun, San Martín department, Santiago del Estero (latitude S 28º 44' 44", longitude W 63º 11' 34"; altitude: 130 m, mean annual precipitation (MAP): 470 mm; mean annual temperature (MAT): 20 °C (Saavedra, 2004). *M. viscifolia* was collected in Guampacha, Sierras de Guasayán, (latitude S: 28º 15' 44", longitude W 63º 34' 55", altitude: 479 m, MAP: 563 mm; MAT: 19 °C) of Santiago del Estero province. *M. cuezzoi* was collected in the montane forest of Los Toldos, Salta province (latitude S: 22º 24', longitude W 64º 43', altitude: 1700 m, MAP: 1349 mm, MAT: 19 °C).

Fresh wood samples were collected along with herbarium vouchers. The material was collected from five wild-growing individuals of each species. 10 cm thick disk was cut from each tree at 0.3 m height. The samples are deposited in Laboratory of Wood Anatomy (LAM), Faculty of Forestry of Santiago del Estero University (UNSE).

Mature wood samples were fixed in 70% alcohol. Transverse, radial and tangential sections (12 µ-18 µ thick) were cut using a sliding microtome. The sections were doubly-stained with 1% fuchsin and astra blue (Roeser,

1972) and mounted permanently by Entellan. Wood material was macerated following Jeffrey's method (Johansen, 1940).

Terminology and determination of quantitative features follow the recommendations of the IAWA Committee (1989) and Tortorelli (2009). For vessel diameters, vessel element lengths, fibre lengths and ray height, 25 measurements were taken from each specimen and averaged.

The influence of environmental conditions on characteristics (vessel diameter and vessel number) associated with water conduction was evaluated through the vulnerability index. The vulnerability index *(VI)* was calculated to estimate susceptibility to damage during water conduction of wood, as proposed by (Carlquist, *1988*): *VI*= Vd / Vmm; where: Vd =vessel diameter and Vmm = vessel per square mm. Numerous, narrow vessels give the plant protection against cavitation, especially in stress environments, while fewer, wider vessels are more susceptible to cavitation.

Multivariate statistical analyses were applied in the present study to trace the possible relationships between anatomical and ecological features. A preliminary approaches to treatment of the subject about which of the quantitative variables are associated with each of the species analyzed follows. Were used seven quantitative variables: vessel per square/ mm (Vmm); tangential diameter of vessel (Vd); vessel element length (Vl); fibre length (Fl); fibre wall thickness (Fw); ray height (Rh); ray width (Rw).

They were evaluated using Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis (CA) in order to determine taxonomic patterns and to generate a classification system.

Non parametric analysis of variance (ANAVA) for repeated measures (Cody and Smith, 1991) and the Kruskal Wallis test (α = 0,05) was performed for 7 variables. Professional Program InfoStat was used for statistical analysis (INFOSTAT, 2008).The photomicrographs were taken with Zeiss Axiostar microscope and Sony video camera ExwaveHAD. Small blocks cut to produce transverse, radial and tangential surfaces were used for scanning electron microscopy (SEM).

Results

Anatomical descriptions

Maytenus vitis-idaea (Fig. 1–8)

Growth rings distinct, marked by thick-walled fibres. Wood diffuse-porous, vessels solitary (75%) and in radial multiples of 2-4; occasionally with some clusters, 68 (50-85) per mm^2; 28 (20-40) µm in diameter. Vessel element length 77 (45-125) µm. Perforations simple, intervessel pits alternate, small, 4 µm - 6 µm in diameter. Vessel-ray pits with distinct borders, similar to intervessel pits in size and shape. Fibre non-septate, thick- to very thick-walled, 165 (112-262).µm in length, with distinctly bordered pits; pit frequency on radial and tangential walls more or less equal, pits minute (2 µm - 5 µm). Axial parenchyma diffuse-in-aggregates and scanty paratracheal; 1-2 cells per parenchyma strand. Rays heterocellular with 2-4 rows of upright and/or square marginal cells, 13 (7-16) per mm, mostly 1 to 2 (occasionally 3) cells wide, 116 (150- 450) µm in height, not storied. Prismatic crystals occasionally present in upright and/or square ray cells and in short chains in axial parenchyma cells; one crystal per cell or chamber.

Maytenus viscifolia (Fig. 9–20)

Growth rings distinct, marked by thick-walled fibres. Wood diffuse porous. Vessels solitary (30%) and in radial multiples of 2-6; occasionally with some clusters, 84 (42-117). per mm^2. Vessels 36 (30-40) µm in diameter. Vessel element length 113 (65-172) µm. Perforations simple. Intervessel pits vestured, minute (3 µm - 5 µm), polygonal. Vessel-ray pits rounded with much reduced borders, to apparently simple.

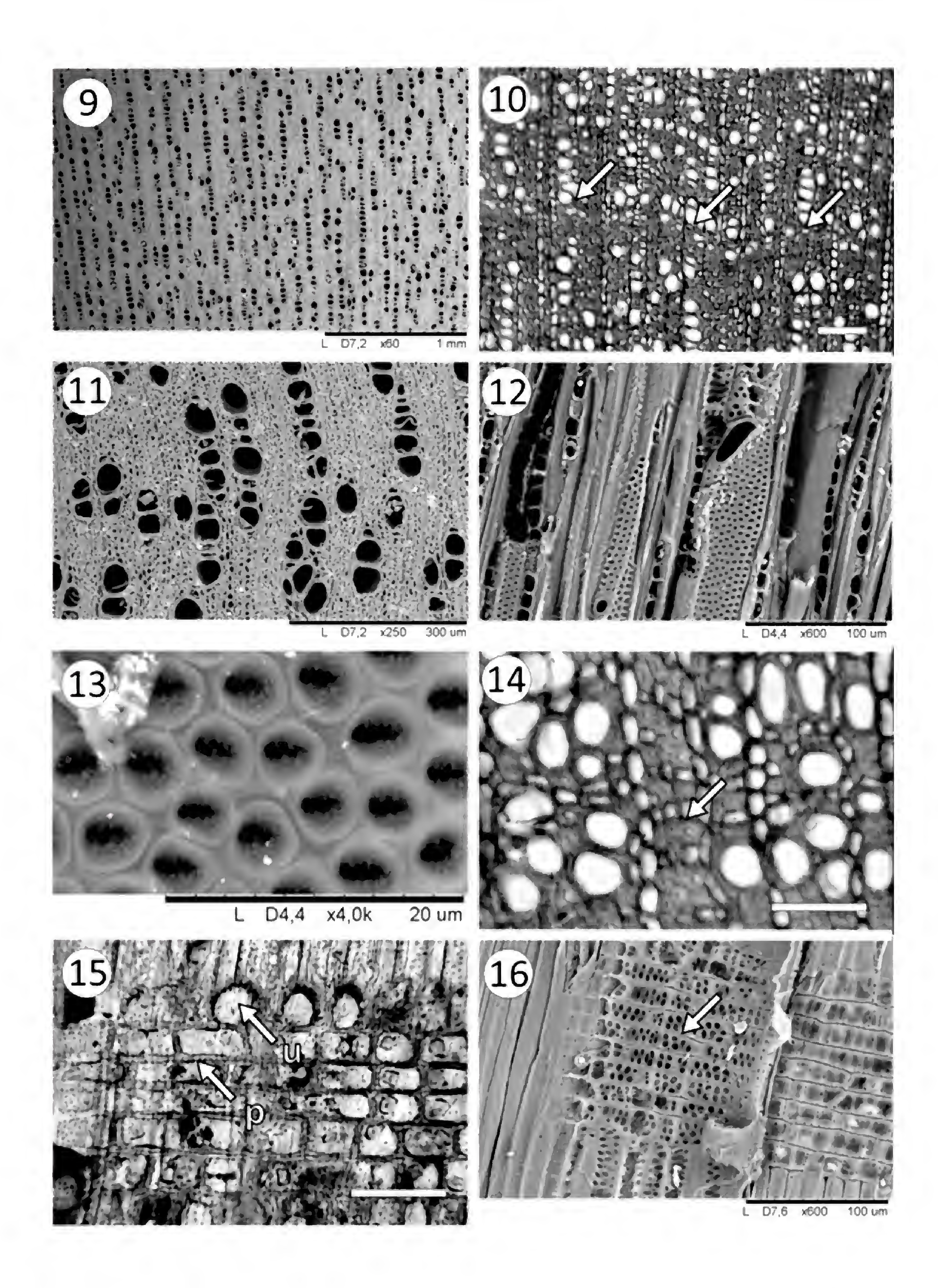
Fibre 227 (135-282) µm in length, with thick to very thick cell walls. Fibre pits mostly conspicuously bordered, 2 µm - 5 µm in diameter, frequency on radial and tangential walls approximately equal. Apotracheal axial parenchyma diffuse-in-aggregates and scanty paratracheal vasicentric.

Rays heterocellular with 2-4 rows of upright and/or square marginal cells, 12 (7-16) per mm, 1 to 3 cells wide, 456 (180-850) µm in height, not storied. Perforated ray cells rarely present. Prismatic crystals occasionally present in cells of axial parenchyma.



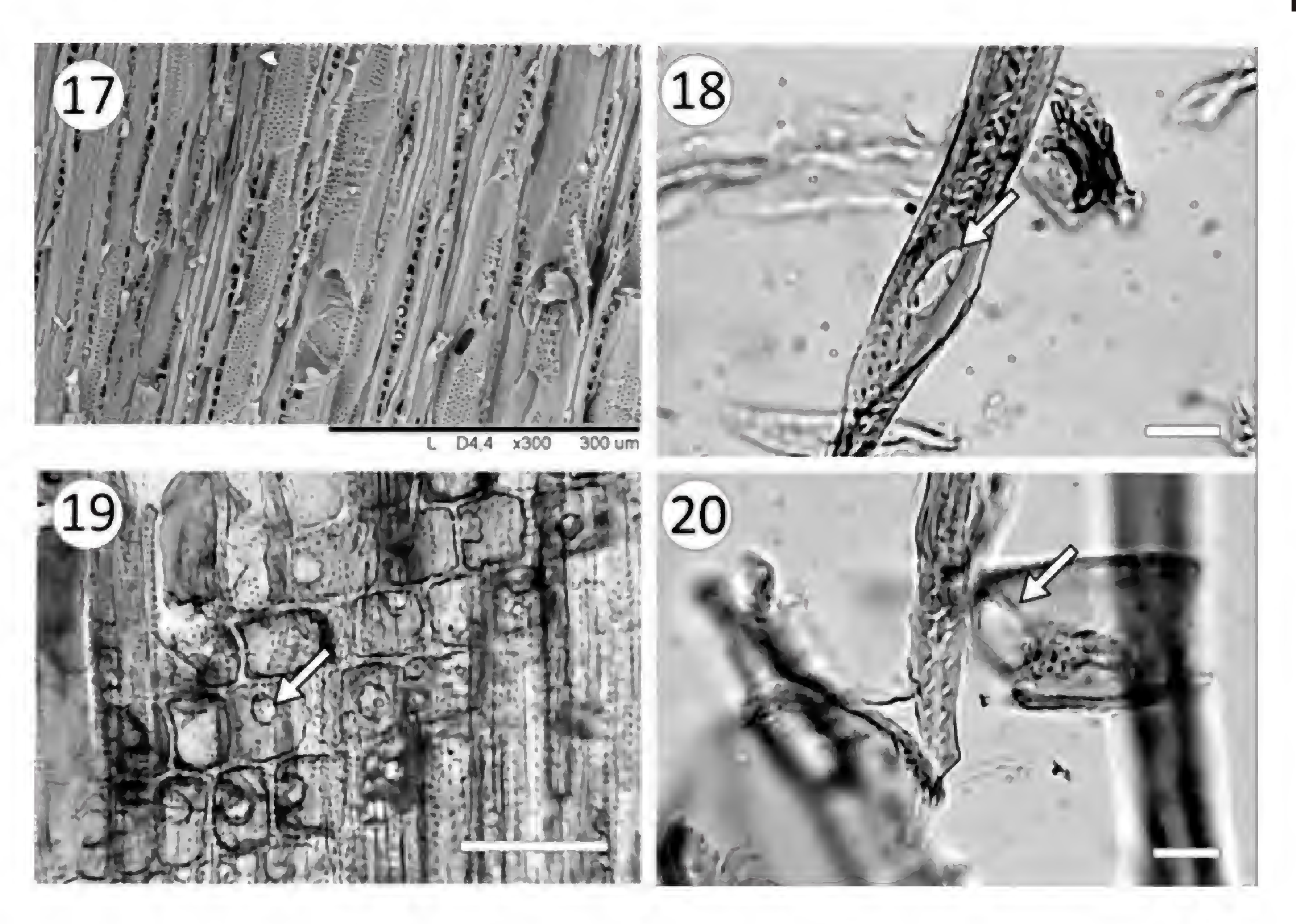
FIGURES. 1–8: *Maytenus vitis-idaea:* --1. Growth rings distinct marked by thick-walled fibres. --2. Vessels solitary and radial multiples. --3. Vessel with simple perforation. –4. Alternate intervessel pits small. --5. Parenchyma diffuse-in-aggregates. --6. Rays 1 to 2 cells wide.--7. Prismatic crystals present in ray cells. --8. Fibre with bordered pits in one or two rows.

Note: the scale corresponds to 100 um, except in the SEM micrographs which have included its own scale.



FIGURES. 9–16: *Maytenus viscifolia*. --9. Wood diffuse porous. --10 Growth rings distinct marked by thick-walled fibres. --11. Vessels predominantly in radial multiples of 2-6. --12. Vessel with simple perforation. --13. Small alternate intervessel vestured. --14. Parenchyma diffuse-in-aggegates. --15. Rays heterocellular (u: upright cell; p: procumbent cell) --16. Vessel-ray pits.





FIGURES. 17-20: *Maytenus viscifolia*. --17. Rays mostly 1 to 2 cells wide. --18. Vessel with simple perforation. –19 Perforated ray cells. 20. Perforated ray cells in maceration.

Maytenus cuezzoi (Fig. 21–30)

Growth rings distinct, marked by thick-walled fibres. Wood diffuse-porous, rarely appearing semi-ring-porous. Vessels with helical thickenings, in radial multiples of 2-5 (60%), solitary (25%), and occasionally clusters, 99 (62-172) vessels per mm^2. Vessels 32 (20-20) µm in diameter. Vessel element length 131 (77-182) µm. Perforations simple. Intervessel pits alternate, small (4 µm - 6 µm), vestured. Vessel-ray pits with distinct borders, similar to intervessel pits in size and shape.

Fibre 230 (162-325) µm in length with thick to very thick walls. Fibre pits mostly conspicuously bordered, 2-5 µm in diameter, frequency on radial and tangential walls approximatelyequal.

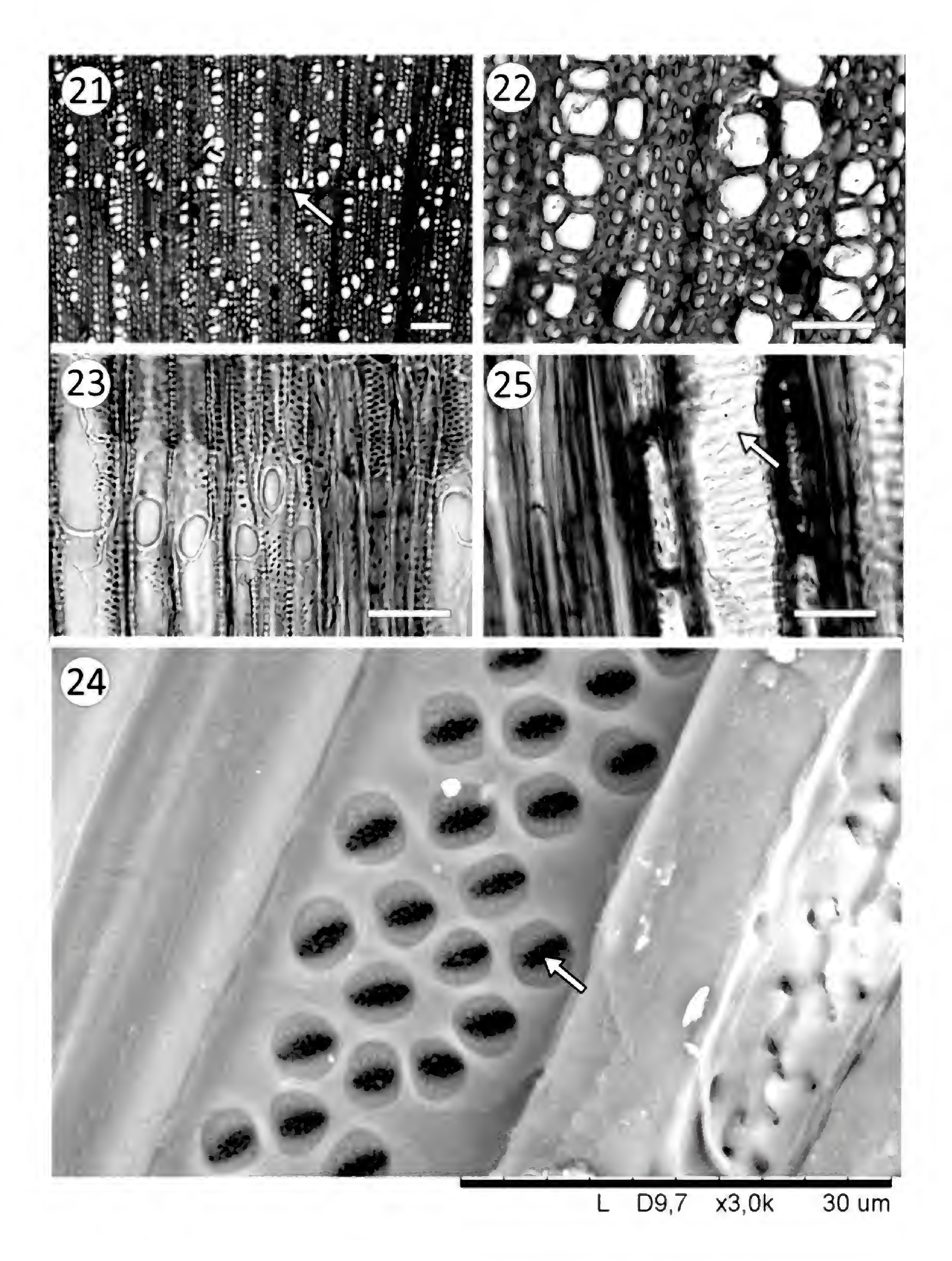
Apotracheal axial parenchyma diffuse-in-aggregates; scanty paratracheal, vasicentric, and unilateral.

Rays heterocellular with 2-4 rows of upright and/or square marginal cells, 13 (9-18) per mm, 1 to 3 cells wide, 460 (240-960) µm in height.

Prismatic crystals occasionally present in upright and/or square ray cells and in short chains in axial parenchyma cells; one crystal per cell or chamber.

Maytenus spinosa (Fig. 31–36)

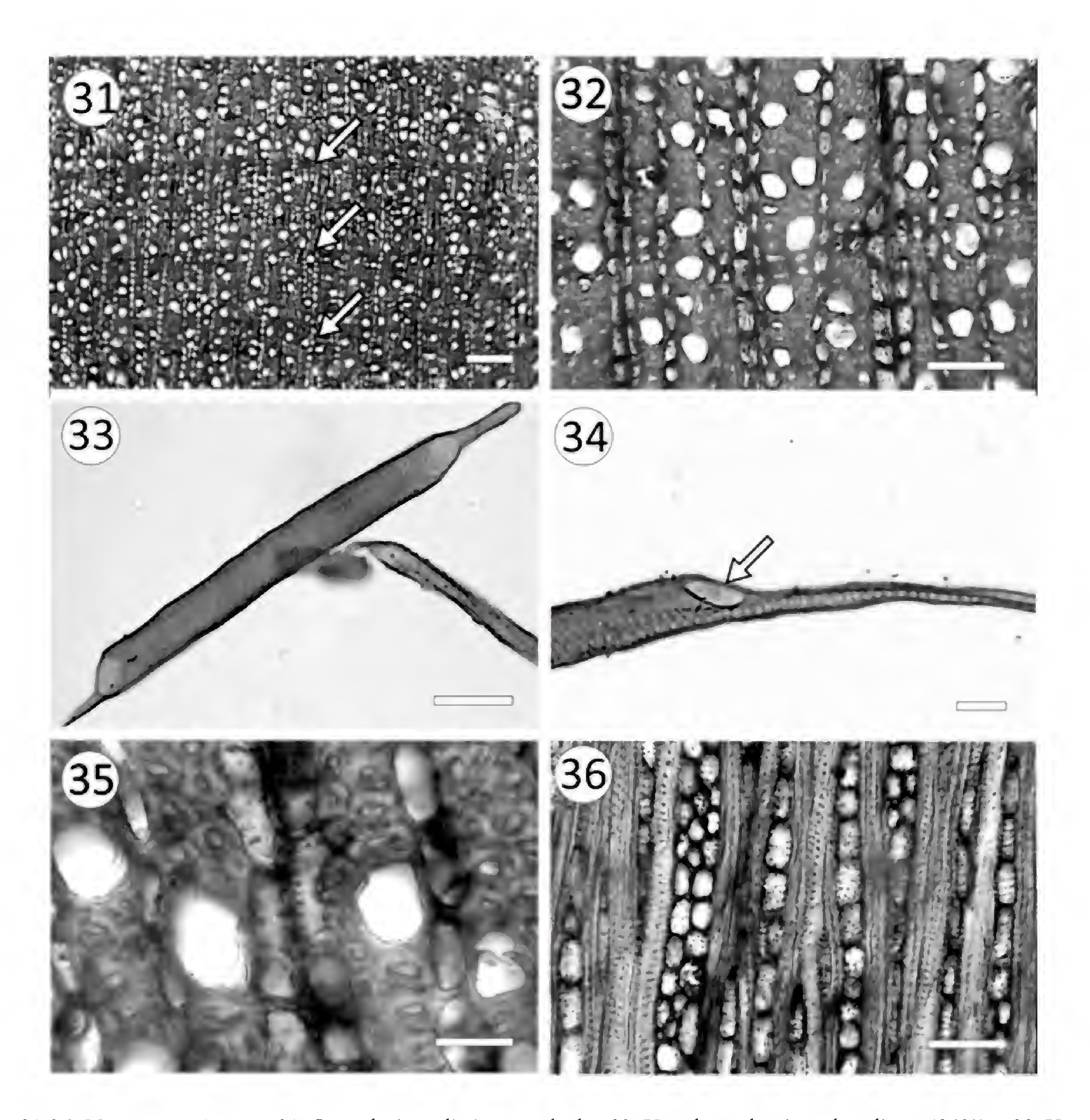
Growth rings distinct, marked by thick-walled fibres. Wood diffuse-porous, rarely appearing semi-ring-porous. Vessels predominantly solitary (84%), in radial multiples of 2, and occasionally some clusters; 136 (87-185) per mm^2. Vessels 20 (10-30) µm in diameter. Vessel element length 84 (40-117) µm; tails frequent at both ends. Perforations simple. Intervessel pits alternate, small, 4 µm - 6 µm in diameter. Vessel-ray pits with distinct borders, similar to intervessel pits in size and shape.



FIGURES. 21-25: *Maytenus cuezzoi*. --21. Growth rings distinct marked by thick-walled fibres. --22. Vessels predominantly in radial multiples of 2-5. --23. Vessels with simple perforations. --24. Small alternate intervessel pits. --25. Vessels with helical thickenings.



FIGURES. 26-30: *Maytenus cuezzoi*. --26. Vessels with helical thickenings. --27 Rays mostly uniseriate. --28. Rays biseriate with crystal. --29. Rays heterocellular. --30. Vessel-ray pits.



FIGURES. 31-36: *Maytenus spinosa*. --31. Growth rings distinct marked. --32. Vessels predominantly solitary (84%). --33. Vessel with tails at both ends. --34. Vessel with simple plate. --35. Fibretracheids with cell walls thick to very thick. --36. Rays 1, 2 cells wide.

Imperforate tracheary elements consist of non-septate fibre with pits mostly conspicuously bordered, 153 (102-197) µm in length, 2-4 µm in diameter; density on radial and tangential walls approximately equal. Cell walls thick to very thick.

Apotracheal axial parenchyma diffuse-in-aggregates and scanty paratracheal .

Rays heterocellular with 2-4 rows of upright and/or square marginal cells, 20 (14-24) per mm, 1 to 3 cells wide, 330 (130-690) µm in height.

Prismatic crystals occasionally present in upright and/or square ray cells and in short chains in axial parenchyma cells, one crystal per cell or chamber.

The most important anatomical features are summarized in Table 1



TABLE 1. Wood anatomical characters.

Species	*M. vitis-idaea*	*M. spinosa*	*M. viscifolia*	*M. cuezzoi*
Porosity	diffuse-porous	diffuse-porous	diffuse-porous	diffuse-porous
Solitary vessel	75%	84%	30%	25%
Vessel radial multiples of 2-3	16%	11%	40%	31%
Vessel radial multiples (4-5)	0	0	14%	26%
Clusters common	9%	5%	16%	18%
Tangential diameter of vessel lumina µm	28.4 (20-40) S: 6.24	19.6 (10- 30) S:4.55	35.6 (30-40) S:5.07	32 (20-40) S: 5,77
Vessel element length µm	77.10 (45.5-125) S: 19.76	83.6 (40-117.5) S: 22.02	113.4 (65-172.5) S: 30.63	130.7 (77.5-182.5) S: 34.64
Helical thickenings	-	-	-	+
Vestured pits	-	-	+	+
Perforation plate simple	+	+	+	+
Vessel frequency (Vmm²)	67.7 (50-85) S:10.75	136.2 (87.5-185) S: 30.07	83.6 (42.5-117.5) S: 19.29	99.4 (62.5-172.5) S: 23.98
Ray Uniseriate	30%	43%	44%	49%.
Ray biseriate	56%	38%	50%	28%.
Ray triseriate	14%	19%	6%	23%
Ray height	228.8 (100-430) S:64.1	330.4 (130-690) S:126	456.3 (180-850) S: 184.29	460.4 (240-960) S:186.5
Rays per mm	13.4 (7-16) S: 2.2	19.9 (14-24) S: 2.5	11.7 (7-16) S: 2.5	13.5 (9-18.5) S. 1.9
PRC (perforated ray cell)	-	-	+	-
Fibre length (µm)	165 (112.5-262.5) S: 30.74	153.2 (102.3-197.5) S: 30.54	227.2 (135-282.5) S: 36.25	229.8 (162.5-325) S: 39.51
Fibre wall thickness (Fw)	4.5 (3.75-5) S: 0.63	3.4 (2.5-3.75) S: 0.57	5.2 (3.75-7.5) S: 0.86	3.35(2.5- 5.0) S:1.07
VI	0.43 (0.24-.70) S: 0.13	0.15 (0.06-0.3) S: 06	0.45(0.28-0.94) S: 0.14	0.34 (0.17-0.57) S: 0.10

Note: S standard deviation

From PCA, factor 1 expresses 58% of the variability, 33% factor 2 and 0,06 factor 3 (Table 2). Factor 1 is considered practically significant, as explaining an important amount of the variability in the data. The variables that load significantly in Factor 1 are: vessel diameter (Vd), fibre length (Fl), and ray width (Rw); on Factor 2: vessel length (Vl), ray height (Rh), and fibre wall (Fw) load significantly. The species separate into different quadrants (Fig. 37).

TABLE 2. Statistics of Eigenvalues (factor) of Principal Component analysis (PCA).

Eigenvalues (Factor)	*Valor*	*Proportion*	*Acumulate Proportion*
1	4,05	0,58	0,58
2	2,55	0,36	0,94
3	0,4	0,06	1
Variables	Factor 1	Factor 2	
Vd	0,49	-0,01	
Vl	0,34	0,45	
Fl	0,44	0,29	
Vmm²	-0,33	0,40	
Fw	0,32	-0,41	
Rh	0,31	0,47	
Rw	0,38	-0,40	

Note: The variables with the highest value are those that best explain the total variability

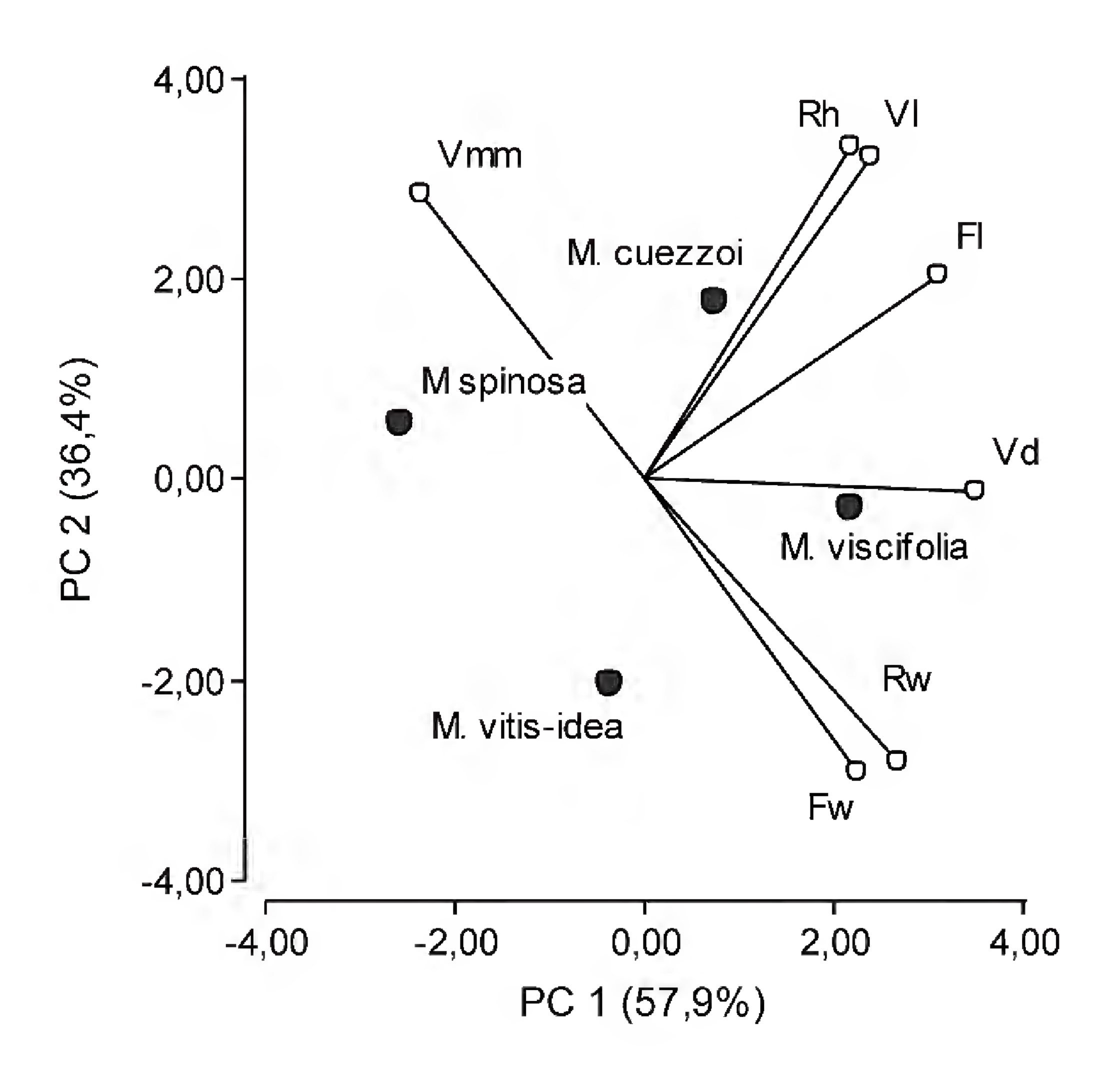


Figure 37. Principal Component Analysis of wood characteristic based on four species.

Variables: Vmm: vessel per square/ mm; Vd: tangential diameter of vessel; Vl: vessel element length; Fl: fibre length; Fw: Fibre wall thickness; Rh: ray height; Rw: ray width; PC1: Factor 1; PC2: factor 2.

Species appear as points and the variables as vectors. Species that appear in the same direction that a variable, may have high values for that variable and low value are plotted in the opposite direction. The correlations between variables can be interpreted through the angles between the vectors. Angles of 90 degrees indicates no correlation, angles (<90°) indicate a positive correlation and angles of > 90° negative correlation, angles close to 180° would show high negative correlation between the variables.

Cluster Analysis (CA) was performed to analyze the behavior of the anatomical variables and species, based on the Euclidean distance. The dendrogram derived from CA based on quantitative wood anatomical features species showed considerable grouping tendency within the genus, *M. cuezzoi* and *M. viscifolia* had the highest affinity (Fig. 38).

The histogram of vessel groupings shows that *M. spinosa and M. vitis-idaea* have more than 70% solitary vessels. *M. cuezzoi* and *M. viscifolia* have solitary, multiple and cluster vessels. *M. vitis-idaea and M. viscifolia* present a predominance of biseriate rays.

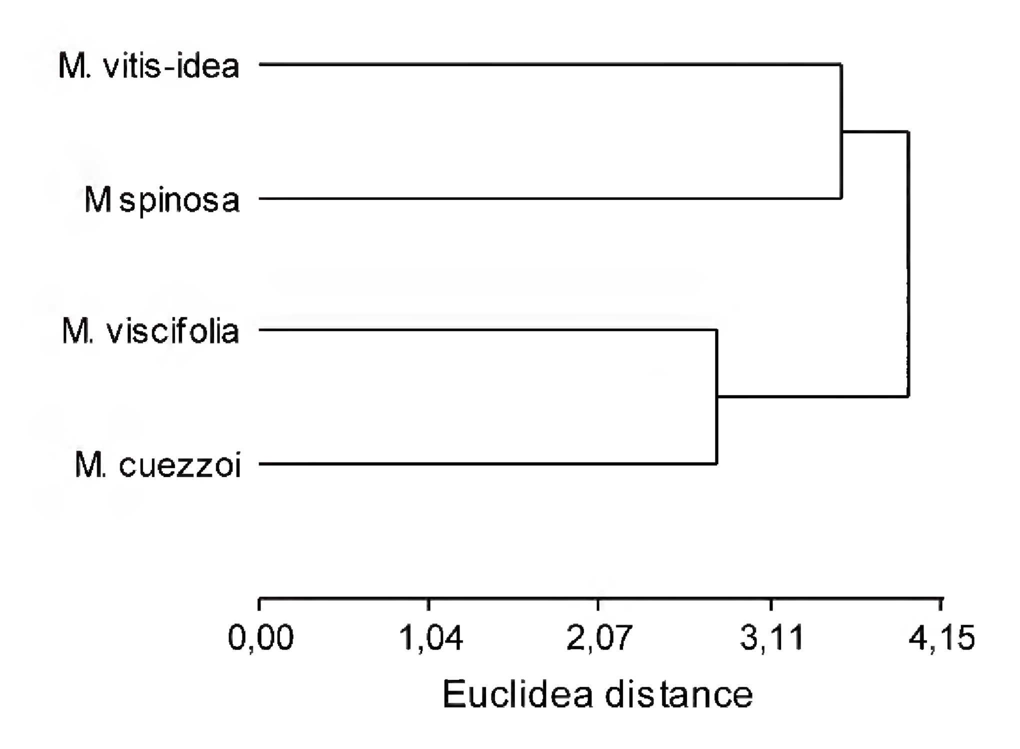


FIGURE 38. Dendrogram resulting from Cluster Analysis of wood features



Table 3. anava of anatomical characters and Kruskal Wallis test.

Quantitative wood anatomical features	*Variation between sp*	*M. vitis-idaea*	*M.spinosa*	*M. viscifolia*	*M.cuezzoi*
Vessel element length	*	A	A	B	B
Tangential diameter of vessel lumen	*	B	A	C	B C
Vessels frequency	*	A	C	B	B
Fibre wall thikcness	*	A	B	C	C
Fibre length	*	A	A	B	B
Ray height	*	A	B	C	C
Ray width	NS	AB	A	B	A

Note: NS = Not significant. * = Significant (α = 0.05). Different letters indicate significant differences with Kruskal Wallis ´s Test

Discussion

Our observations of *Maytenus* are in accordance with the studies of Metcalfe and Chalk (1983), Tortorelli (2009); Joffily *et al*., 2007.

M. spinosa and *M. vitis-idaea* have wide prevalence of solitary vessels (75%). This character is mentioned for *M. acuminata* (Metcalfe and Chalk, 1983), *M. micrantha* (Detienne and Jacquet, 1983), and *M. senegalensis* (Neumann *et al*., 2000). Vessel multiples of 2-3 is present in *M. cuezzoi. M viscifolia* exhibits vessels of all types including multiples of 2-5.

M. boaria had vessels solitary and in multiples of 2-6 (Tortorelli, 2009).

The tangential diameter of vessel varies significantly with the species. The vessels are extremely small, in *M. spinosa* (mean: 19,6 µm); and small in *M. viscifolia*. (35,6 µm).

Vessel elements are extremely short (<350 µ), especially in *M. vitis-idaea and M. spinosa*. Bailey (1957) and Baas (1982) believed that the length of vessel elements and other morphological characters, such as perforation plates and types of pits, reflect the level of specialization of a taxon and further recognized the evolutionary trends of vessel element lengths within angiosperm taxa which came to be known as Baileyane trends. Metcalf and Chalk (1983) also stated that the vessel element length is more significant as a measure of phylogenetic specialization than as a diagnostic character for a taxon. It is the general opinion of Bailey (1957), Baas (1982) and Metcalfe and Chalk (1983) that the less specialized plant taxa have longer vessel elements than the specialized forms. This means high specialization of vessels elements in *Maytenus*.

The vessel frequency show highly significant differences between species; they are extremely numerous in *M. spinosa;* numerous in *M. cuezzoi*, *M. viscifolia and M. vitis-idaea.*

Vessels with helical thickenings were cited *M. boaria* (Tortorelli, 2009) and in *M. cuezzoi*, and vestured pits were observed in *M. cuezzoi* y *M. viscifolia.*

The vulnerability index predicts which species can live in arid (Carlquist, 1988). Xylem efficiency depends on the diameter and frequency of vessels in a given area.

VI index in the four sp is low (0,15/0,45), indicating a high specialization in water transport. Wood samples of *M. spinosa* and *M. vitis-idaea* were collected in Tala Atun (map: 470 mm and dry season of 5 months). *M. spinosa*

(VI 0,15), presents a strategy to ensure water conduction with small, short and very numerous vessels.

M. vitis-idaea (IV 0,43) has very small short and moderately numerous vessels.

M. viscifolia living in Chaco serrano (MAP: 563 mm and 5-month dry season), adopts the strategy of increasing vessel diameter (VI: 0,45). The adaptive strategy of *M. cuezzoi* is the increase in vessel length, tangential diameter and vessels frequency, can be interpreted by the greater availability of water in the plant (1340 mm). The differences are statistically significant between the sp. for variables vessel diameter and vessel frequency.

The axial parenchyma in the four species show is diffuse in aggregates.

M. vitis-idaea and *M. viscifolia* have predominantly biseriate rays; *M. spinosa* and *M. cuezzoi, uniseriate rays.* The fibres have distinctly bordered pits, are very short, especially in *M. spinosa, M.vitis-idaea* and *M. viscifolia* have thick walls (over 60% of the outer diameter of the fibres).

In the Celastraceae, the presence of PRCs was only known to data for *Cassine* (Archer and Van Wyk 1993a). However, the authors did not consider the presence of this cell type diagnostic for the genus due to its rare occurrence and it was only found in *M. viscifolia.*

In Celastroideae, the presence of PRCs has so far been restricted to *Maytenus.* Perforated ray cells have been cited in *Maytenus.* Joffily *et al.* (2007), describe the presence of this element in *M. alaternoides, M. boaria, M. brasiliensis, M. communis, M. evonymoides, M. floribunda, M. ilicifolia, M. myrsinoides* and *M. obtusifolia.*

In arid regions, wood must support high negative pressures. In these regions, the morphology of vessels has adaptive value. There is a reduction of vessel diameter and length, increase in vessel frequency and degree of clustering, and presence of qualitative anatomical features, such as simple perforations. These adaptations increase safety against embolisms (Lindorf, 1994). Baas and Carlquist (1985) emphasize the presence of the following characters in xerophytes and halophytes: small vessels (29-53 µ), high vessel frequency (92-150), semi-ring porous, and presence of fibre-tracheids. All of these features (except porosity) are present in the species studied. The anatomical structure of the woods of this study is characteristic of species of arid zones, such as the dry Chaco region in which *Maytenus* is common. The smaller diameter and length of the vessels, and their high frequency, are some of the most notable features of the conductive elements. They are considered signs of adaptation to extreme aridity and tend to increase the safety, given the limited amount of water available (Lindorf, 1994; Carlquist, 1988; Moglia and Giménez, 1998; Giménez, 1993; Roth and Giménez, 1997; Roth and Giménez, 2006).

The sp *M. viscifolia* and *M. cuezzoi* not show statistical differences for 5 of the 7 considered variables (Kruskal Wallis). This is confirmed by the cluster analysis where both sp. form a group.

Conclusions

The species studied show the anatomical features typical of genus *Maytenus.*

The anatomical structure of the woods of this study is characteristic of species of arid zones.

The smaller diameter, shorter vessels and high frequency, are the most notable features of the conductive elements, considered signs of adaptation to extreme aridity

Quantitative variables that best explain the anatomical differences are: vessel diameter, fibre wall thickness, rays width. The distinctive anatomical features are the presence of PRC only in *M. viscifolia,* intervascular vestured pits in *M. cuezzoi* and *M. viscifolia* and helical thickenings in *M. cuezzoi.*

References

Archer, R.H. and A.E. van Wyk. 1993a. Wood structure and generic status of some southern African Cassinoideae (Celastraceae). IAWA *J.* 14:373-389.

Archer, R.H. and A.E. Van Wyk. 1993b. Bark structure and intergeneric relation of some Southern African CASSINOIDEAE (CELASTRACEAE). IAWA *Journal* 14(1):35-53.

Baas, P. 1982. New perspectives in wood anatomy. W. Junk Publ. 252 p.



Baas, P. and S. Carlquist. 1985. A comparison of ecological wood anatomy of the floras of southern California and Israel. IAWA *Journal* 8:245-274.

Bailey, I. 1957. The potentially and limitations of wood anatomy in the study of phylogeny and classification of angiosperms. *Journal of the Arnold Arboretum* 38:243-254.

Boelke, O. 1992. Plantas vasculares de la Argentina nativas y exóticas. Ed. Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires.

Brown, A. and A. Grau. 2000. Fortalecimiento de la capacidad productiva bajo condiciones de sustentabilidad. 135 p. Comisión Nacional de la cuenca alta del bermejo.

Carlquist, S. 1988. Comparative wood anatomy. Springer-Verlag, Heidelberg.

Carlquist, S. and Hoekman, D. 1985. Ecological wood anatomy of woody southern California flora. IAWA *Bulletin* 6:319-347.

Cody, R. and J. Smith. 1991. Applied Statistics and the SAS. Programming Language. North Holland. 3 ed. New York, Amsterdan, London. 404 p.

Detienne, P. and P. Jacquet. 1983. Atlas d'identification des bois de l'amazonie et des regions voiseines. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent s/Marne. 640 pp

Digillio, R. and R. Legname. 1966. Los árboles indígenas de la provincia de Tucumán. Opera Lilloana XV Tucumán.

Dimitri, 1972. Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. 1a ed. insp. y dirigida por Lorenzo R. Parodi : 1. v.. ACME. Buenos Aires. Ar. l028 p.

Ewers, F.W.; J.M. Ewers, A.L. Jacobsen and J. López Portillo. 2007. Vessel redundancy: modeling safety in numbers. IAWA 28(4):373-388.

Giménez, A. and J. Moglia. 2003. Árboles del Chaco Argentino. Guía para el reconocimiento dendrológico. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Desarrollo Social, UNSE. 310 p.

Giménez, A. and P. Hernández. 2008. Biodiversidad en Ambientes naturales del chaco Argentino Vegetación del Chaco Semiárido. Provincia de Santiago del Estero Fascículo 1-Ed. FONCYT. FCF-UNSE. 120 p.

Giménez, A., Gerez, R. and P. Hernández. 2007. Principales leñosas del Chaco Semiárido Argentino con potencialidad de uso tintóreo. Flora Nativa. III Jornadas Nacionales de Flora Nativa; IV Encuentro de Cactáceas. Córdoba. ISBN 978-987-510-079-4. p: 235-246 pp.

Giménez, A.M. 1993. Rasgos estructurales característicos del xilema secundario de las principales especies arbóreas de la región Chaqueña Seca. *Revista Quebracho*: 5-14.

Giménez, A.M. 2004. Anatomía de leño y corteza de *Tabernaemontana catharinensis Adc*. (Apocinaceae). *Revista Quebracho* 11:22-32.

Giménez, A.M.; J.G. Moglia and J.H. Femenia. 1998. Anatomia del leño y corteza de *Monttea aphylla* (Miers) Beneth et Hook, Scrophulariaceae. *Revista Quebracho* 6:42-62.

Giménez, A.M.; P. Hernández, R. Gerez, M.E. Figueroa, I. Barrionuevo, F. Calatayu. 2010. Los arbustos útiles de los bosques del Chaco Semiárido. Eco Productos Forestales No Madereros- Libro de Actas. Trabajo completo p: 66-77.

Hurrel, J. and D. Bazzano, 2003. Arbustos I. Biota Rioplatense Ed. LOLA. Bs. As. Argentina. p:68-69.

IAWA Committee. 1989. IAWA List of microscopic features for hardwood identification. IAWA *Bulletin* 10:219-332.

INFOSTAT 2008. InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA.

Joffily, A., D.F. Domingues, and R.C. Vieira. 2007. Perforated ray cells in the root and stem of *Maytenus* (Celastroideae-Celastraceae). IAWA *Journal* 28(3):311-314.

Johansen, D.A. 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill Book Co, New York.

Karlin, U.; E. Ruiz Posse and A. Contreras. 2010. Etnobotánica de las Salinas Grandes. *Eco Productos* p:92-104.

Legname, R. 1973. Arboles indígenas de la provincia de Tucumán. Publication: *Lilloa* 33(19):333.

Legname, R. 1982. Árboles indígenas del Noroeste Argentino. Opera Lillona XXXIV. Tucumán.

Lindorf, H. 1994. Eco-anatomical Wood Features of Species from a Very Dry Tropical Forest. IAWA 15(4):361-376.

Lourteig, A. and C. Odonell. 1955. Las celastráceas de Argentina y Chile. *Natura* 1:181-233.

Mennega, A.M.W. 1997. Wood anatomy of Hippocrateoideae (Celastraceae). IAWA *Journal* 18:331-368.

Metcalfe, C. and L. Chalk. 1950. Anatomy of the Dicotyledons. Vol. 1 and 2. Clarendon Press, Oxford.

Metcalfe, C. and L. Chalk. 1983. Anatomy of the dicotyledons, 2nd Ed. Vol. II. Wood structure and conclusion of the general introduction. Clarendon Press, Oxford. 279 p.

Moglia, G. and A.M. Giménez. 1998. Rasgos Anatómicos Característicos del Hidrosistema de las Principales Especies Arbóreas de la Región Chaqueña Seca y Húmeda. *Rev. I.A. Sistemas y Recursos Forestales* 7:53-71.

Moglia, J.G, S.J. Bravo; A.M. Gimenez, A.M. and C.R. Lopez. 2009. ¿Son los caracteres estructurales de la madera de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schelkt causantes de su inestabilidad?. *Revista Quebracho* 17:20-31.

Neumann, K., W. Schoch, P. Détienne and F.H. Schweingruber. 2000. Woods of the Sahara and the Sahel. An anatomical atlas. Eidg. Forschungsanstat WSL, Birmendorf, Verlag Paul Haupt.

Record, S.J. and R.W. Hess. 1943. Timbers of the New World. Yale Univ. Press, New Haven.

Robertse, P.J., G. Venter and Janse van Rensberg. 1980. The wood anatomy of the South African *Acacia*. *International Wood Anatomists Bulletin* 1(3):93-103.

Roeser, K.R. 1972. Die Nadel der Schwarz Kiefer-Massenprodukt und Kunstwerk der Natur. *Mikrokosmos* 61:33-36.

Roth, I. and A. Giménez. 1997. Argentine Chaco forests. Dendrology, tree structure, and economic use.1- The semiarid Chaco. Encyclopedia of Plant Anatomy.XIV/5. 120P. Gerbruder-Borntraeger-Berlin-Stuttgart.

Roth, I. and A. Giménez. 2006. Argentine Chaco forests. Dendrology, tree structure, and economic use. 2- The humid Chaco. Encyclopedia of Plant Anatomy.XIV/5. 130p. Gerbruder-Borntraeger-Berlin-Stuttgart.

Saavedra, S.V. 2004. Determinación con base ecológica de la productividad potencial forestal en la provincia de Santiago del Estero. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Madrid, Esc. Técnica Superior de Ingenieros de Montes.

Sokal, R. R. and F.R. Rohlf. 1981. Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research, 2nd ed. W.H. Freeman & Co., New York. 880p.

Somaratne, S. and T.R. Heart. (2001). Comparative vegetative Anatomical Study of the Genus *Calophyllum* L. (Clusiaceae) in Sri Lanka. *Ceylon Journal of Sciences (Bio. Sci.)* 28:51-80.

Stramiglioli, C. 2007. Las teleras santiagueñas. Latin Grafica SRL. Bs. As. ISBN 978-987-05-3197-5172 p.

Tortorelli, L. 2009. Maderas y Bosques Argentinos. 2nd ed. Tomo I y II: 1105. ISBN 978-987-9260-68-5. 2000 p.

Wickremasinghe, B. K. L. and T.R. Heart. 2006. A comparative wood anatomical study of the Genus *Diospyros* L. (Ebenaceae) in Sri Lanka. *Cey. J. Sci. (Bio. Sci.)* 35(2):115-136.

Zuloaga, F. O. and O. Morrone,eds.1999. Catálogo de las plantas vasculares de la República Argentina. II. Dicotyledoneae. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 74: St. Louis.

Manuscript received on September 6th 2012.
Accepted on February 27th 2014.

This manuscript must be cited as:
Giménez, A.M., J.G. Moglia, M.E. Figueroa, J.A. Díaz-Zírpolo and F. Calatayu. 2014. Comparative wood anatomy of *Maytenus* in Northwestern Argentina (South America). *Madera y Bosques* 20(2):95-110.



Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (*Guadua aculeata, Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*)

Physical and mechanical properties of three Mexican guaduas (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* and *Guadua velutina*)

Víctor Rubén Ordóñez-Candelaria[1] y Guadalupe Martha Bárcenas-Pazos[1]

1 Instituto de Ecología, A.C. Red de Ambiente y Sustentabilidad, victor.ordonez@inecol.mx.

Resumen

Se determinaron algunas propiedades físicas y mecánicas de tres de las cinco especies del género *Guadua* que crecen en México con la finalidad de fomentar su uso en la construcción, aprovechando su comportamiento estructural. Las especies estudiadas fueron *Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina* sobre las que es conocido que poseen características adecuadas para la construcción de vivienda tradicional. Se recolectaron en los estados de Veracruz y Tabasco. Para *G. velutina* y *G. amplexifolia* los valores de densidad relativa básica (pa/vv) que se obtuvieron fueron entre 0,399 y 0,393 para la parte basal de los culmos, y de 0,514 y 0,506 para la parte superior. Para esta misma propiedad *G. aculeata* mostró valores ligeramente más altos, 0,429 en la parte basal y 0,653 para la parte superior de los culmos. De manera semejante los valores de resistencia en flexión (MOR), en condición verde, obtenidos fueron, en general, más bajos para la parte basal y más altos en la parte superior. Para *G. velutina* fueron entre 75,5 MPa y 88,3 MPa; para *G. amplexifolia* de 77,0 MPa y 102,1 MPa; y para *G. aculeata* de 59,7 MPa a 89,2 MPa.

Palabras clave: bambú, compresión, cortante, flexión, módulo de elasticidad, módulo de ruptura.

Abstract

A test program on some physical and mechanical properties of three out of the five *Guadua* species growing in Mexico was carried out to promote their use in construction taking advantage of their structural behavior. Those species were *Guadua amplexifolia*, *Guadua velutina* and *Guadua aculeata*, which are traditionally well known to have characteristics for vernacular housing. Samples were collected in Veracruz and Tabasco states. Values obtained for G. *velutina* and G. *amplexifolia* basic relative density (ow/gv) range from 0,393 to 0,399 for the lowest part of culms, and from 0,506 to 0,514 for the top. *G. aculeata* showed values slightly higher, 0,429 in the base, 0,653 for top of culms. Values of bending strength (MOR), in green condition, were, generally, lower for base specimens and higher for top specimens. Bending strength values for unseasoned bamboo for *G. velutina* ranged from 7,5 MPa to 88,3 MPa; while *G. amplexifolia* were from 77,0 MPa to 102,1 MPa; and for *G. aculeata*, varied from 59,7 MPa to 89,2 MPa.

Key words: bamboo, compression, shear, bending, modulus of elasticity, modulus of rupture.

Introducción

La madera de bambú se utiliza en México, de manera rústica, para edificar viviendas y otras construcciones menores en el medio rural, en donde crece naturalmente (Gutiérrez y Dorantes, 2005a y 2005b). Su uso y técnicas son tradicionales y locales basados en el conocimiento empírico heredado y de la disponibilidad de los bambúes locales (Cortés 2005a y 2005b).

Sin embargo, su calidad y durabilidad se pueden incrementar con la participación de arquitectos, ingenieros, tecnólogos de la madera y otros profesionales que generen o incrementen la información sobre las especies que se utilizan en la construcción, principalmente sobre sus propiedades físicas y mecánicas, su durabilidad natural, y sistemas de preservación o conservación, diseños arquitectónicos, sistemas constructivos, diseño estructural y de uniones (Ordóñez, 1999, Rodríguez, 2006). También se requiere más investigación sobre su distribución geográfica, identificación de especies, taxonomía, anatomía y silvicultura (Cortés, 2000). Muchos de estos temas se desarrollan en otros países como Ecuador, Colombia, Brasil, Costa Rica, China, India, y otros en donde crece naturalmente o ha sido introducido con fines comerciales (Cruz, 1994; Hidalgo, 1978 y 2003; Janssen, 2000; Lindholm y Palm, 2007; Mejia y Castillo, 1987; Tamolang *et al*., 1980: Villegas, 2003). De los bambúes que crecen en México, entre 20 y 30 especies son consideradas como leñosas (Cortés, 2005), de estas, las guaduas tiene tradición de ser utilizadas en la construcción (Gutiérrez y Dorantes, 2005a y 2005b).

La evaluación de las propiedades mecánicas del bambú se ha llevado a cabo utilizando estándares locales o regionales con culmos completos (Mohmod *et al*., 1993; Luna *et al*., 2013; Correal y Arbaláez, 2010), o basados en normas para madera con especímenes rectangulares (Cobos y León, 2007; Kamruzzama *et al*., 2008; Li, 2004; Lindholm y Palm, 2007; Osorio *et al*., 2007; Valero *et al*., 2005).

En México es muy escasa la información sobre las características tecnológicas de los bambúes (Ángeles *et al*., 2005; Gómez, 2002) que presentan condiciones como para ser utilizados en construcciones permanentes con mejores diseños arquitectónicos y estructurales (Correal y Arbeláez, 2010; Ordóñez, 2005), que permitan mejorar los sistemas constructivos actuales y proponer diseños novedosos utilizando un material vegetal barato, fácil de cultivar, y con reconocida tradición en otros países.

Este trabajo es el primer intento en el nivel nacional para determinar de manera metódica y estandarizada las características de los bambúes que crecen en el país, tomando como base la propuesta de normas para ensayos de laboratorio en el nivel mundial (Janssen 1999a y 1999b). La norma para ensayos de laboratorio con bambú fue emitida en 2005 (ISO, 2005).

Para el estudio se seleccionaron las especies *Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina* porque sus características de diámetro, altura y forma resultan las más adecuadas para su uso en la construcción de viviendas.

Objetivos

Determinar algunas propiedades físicas y mecánicas del tallo de tres especies de *Guadua* nativas de México, *Guadua aculeata* (Rupr. ex E. Fourn.) Hitchc., *Guadua amplexifolia* (Presl) R. & S., y *Guadua velutina* Londoño & L. Clark, en su sección tubular.

Materiales y métodos

Sitios de recolecta

Con base en la información de la distribución de las especies nativas de guaduas en México (Beetle *et al*., 1987, Pohl y Davidse, 1994) (Figs. 1 a 3) y el apoyo del Biól. Gilberto Cortés, reconocido por su amplio conocimiento sobre las especies nativas de bambú, se seleccionaron los sitios de recolecta. Los culmos de *Guadua amplexifolia* se recolectaron en el poblado de Monte Blanco, Veracruz; los de *Guadua velutina* en la población de Huimanguillo, Tabasco, y los de *Guadua aculeata* en Misantla, Veracruz. Los datos de los sitios de recolecta se presentan en la tabla 1.





FIGURA 1. Distribución de la *Guadua aculeata* en México (adaptado de Beetle *et al.*, 1987).



FIGURA 2. Distribución de *Guadua amplexifolia* en México (adaptado de Beetle *et al.*, 1987).



FIGURA 3. Distribución de *Guadua velutina* en México (con base en Pohl y Davidse, 1994).

De acuerdo con lo establecido por Janssen (1999a y 1999b), el tamaño de la muestra recolectada fue de 24 culmos (12 para ensayar en condición verde y 12 en condición seca), para lograr un equilibrio entre el costo de los ensayos y la confiabilidad estadística de los resultados, de 95%. En el caso de *G. aculeata* la plantación presentó ataques biológicos que no hicieron posible recolectar el número suficiente de ejemplares (Tabla 1).

Características del material

Los culmos se cortaron hasta una altura en la que su diámetro no fue mayor de 5 cm, considerando que un diámetro menor ya no es útil para la construcción. Cada tallo fue identificado de manera inequívoca por sitio de recolecta y con un número consecutivo. Se midió y registró su longitud aprovechable; y se dividió en tres tramos iguales, identificándolos como tramos basal (B), medio (M) y extremo superior (E).

Preparación de los especímenes y equipos

El material recolectado se transportó inmediatamente al laboratorio de pruebas del Inecol en Xalapa, Ver. Se separaron los 12 culmos para ensayar en condición "verde" sin permitir que perdieran humedad, y los restantes se pusieron a secar protegidos de la acción directa e intermitente de la lluvia y el sol, hasta que alcanzaron un contenido de humedad en equilibrio con las condiciones ambientales de la región de Xalapa, entre 18% y 20%. Se prepararon especímenes para ensayos de flexión estática de cada porción de los culmos (base, media y extremo), de acuerdo con lo establecido en la propuesta de norma de Janssen (1999a y 1999b). Las bases y aplicadores de cargas se diseñaron y fabricaron *ex profeso*, tomando como base los modelos presentados por el mismo autor.

Realización de ensayos

Los ensayos, en dos condiciones de humedad (verde y seca), se realizaron en una máquina universal de ensayos con capacidad de 25 t con un sistema de adquisición de datos para la obtención de gráficas. Para cada ensayo se

TABLA 1. Sitios de recolecta de las guaduas mexicanas.

Colecta	*Especie*	*Sitio de recolecta*	*Coordenadas geográficas*		*Número total de culmos*	*Longitud, m*		D_b, *cm*
			Latitud norte	*Longitud oeste*		*Total*	*Aprovechable*	
1	*G. amplexifolia*	Monte blanco, Ver.	19° 22' 44"	96° 55' 53"	24	15,6	9,8	9,80
2	*G. amplexifolia*	Monte blanco, Ver.	19° 22' 44"	96° 55' 53"	12	11,7	8,2	6,77
3	*G. velutina*	Huimanguillo, Tab.	17° 51' 06"	93° 36' 00"	22	12,5	7,6	6,86
4	*G. velutina*	Huimanguillo, Tab.	17° 54' 03"	93° 42' 11"	4	14,5	11,1	7,98
5	*G. aculeata*	Misantla, Ver.	19° 57' 53"	96° 51' 27"	9	14,4	11,7	7,60
6	*G. aculeata*	Misantla, Ver.	19° 57' 53"	96° 51' 27"	8	19,1	12,9	7,68

Db = Diámetro en la base.

obtuvieron los valores de esfuerzo y módulo de elasticidad en flexión y compresión, esfuerzo en cortante, densidad básica relativa (con base en el peso anhidro y el volumen verde (pa/vv) y el contenido de humedad al momento del ensayo. Por tipo de ensayo se estimaron los estadísticos básicos por sección del culmo y especie.

Flexión estática

Se diseñaron y fabricaron un aplicador de carga y los soportes inferiores de manera que se ajustaran a la sección circular del culmo para que no se desarrollaran concentraciones de esfuerzos durante el ensayo en el punto de aplicación de carga ni en la reacciones (Fig. 4). A cada espécimen se le midió el diámetro exterior en tres secciones de su longitud y se obtuvo el diámetro promedio, con este valor se determinó el claro de carga (l), igual a, por lo menos, 30 veces el diámetro promedio de cada uno (Janssen, 1999a y 1999b). El montaje de la prueba se ilustra en la figura 4; la carga se aplicó a los tercios del claro ($l/3$), a velocidad constante hasta la falla total de cada espécimen.

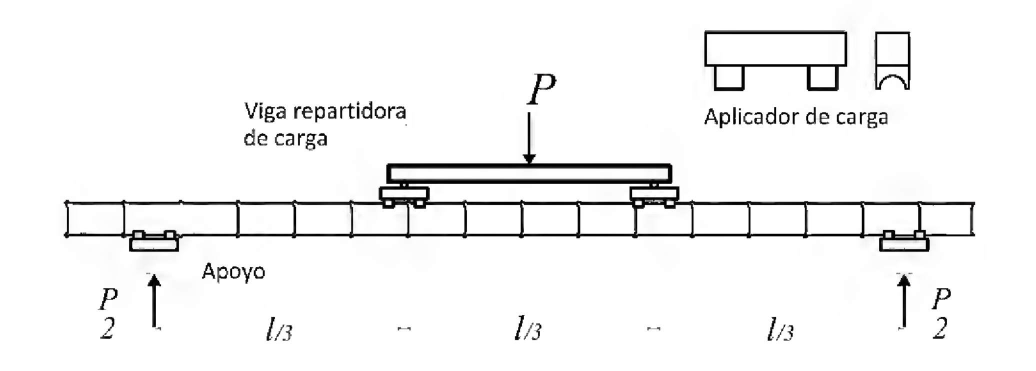


FIGURA 4. Esquema de las pruebas de flexión estática con bambú.

Se registró la carga máxima ($P_{máx}$) a la falla para calcular el módulo de ruptura, MOR (Ec. 1); y se obtuvieron gráficas de carga-deflexión (P-δ), para calcular el esfuerzo en el límite de proporcionalidad f_{lp} (Ec. 2) y el módulo de elasticidad MOE (Ec. 3). Después de cada ensayo, se cortó el espécimen transversalmente lo más cercano a la falla, pero sin incluirla, y se midieron el diámetro exterior (*De*) y los espesores de sus paredes (*e*) en dos direcciones ortogonales. Con los promedios de estos valores se estimó el momento de inercia, *I* (Ordóñez y Salomón, 2009).

$$MOR = \frac{P_{\max}\, l\, De_{prom}}{12\, I} \quad (1)$$

$$f_{lp} = \frac{P_{lp}\, l\, De_{prom}}{12\, I} \quad (2)$$

$$MOE = \frac{23 P l^3}{1296 I \delta} \quad (3)$$

Nomenclatura descrita en el Anexo 1.

Compresión paralela a la fibra

Los especímenes para este ensayo se obtuvieron de secciones de los de flexión estática que no presentaron falla después del ensayo. Se seleccionaron únicamente especímenes sin nudos, con una longitud (h) de 100 mm, que permitiera colocar el medidor de deformaciones holgadamente. Se midieron los diámetros exteriores de sus extremos, y los espesores (e) de sus paredes en cuatro puntos sobre ejes ortogonales de la sección, y se obtuvieron los promedios en ambas dimensiones para obtener el área (A), idealizando la sección como un anillo. Se aplicó carga, en la dirección de la longitud de la probeta, hasta la falla total. Se registraron la carga a la falla ($P_{máx}$) y la gráfica carga-deformación. Se calcularon el esfuerzo máximo, $fc_{máx}$ (Ec. 4) y el módulo de elasticidad, E en compresión (Ec. 5).

$$fc_{\max} = \frac{P_{\max}}{A} \quad (4)$$

$$E = \frac{P\, l_c}{\delta\, A} \quad (5)$$

Nomenclatura descrita en el Anexo 1.

Cortante paralelo a la fibra

Los especímenes para estos ensayos se obtuvieron de secciones de los de flexión estática que no presentaron fallas después del ensayo, ni nudos, con una longitud de 10 cm. Se tomaron medidas de las longitudes y espesores de sus paredes en cuatro puntos sobre ejes ortogonales de la sección transversal de cada uno de los extremos de los especímenes, y se obtuvo el promedio de las dimensiones (h, e) para calcular el área de cortante (Av). El aplicador de carga y la colocación del espécimen se ilustran en la figura 5. Se aplicó carga hasta la ruptura (P_{max}) y se calculó la resistencia en cortante paralelo a la fibra, fv (Ec. 6).

$$fv = \frac{P_{\max}}{Av} \quad (6)$$

Nomenclatura descrita en el Anexo 1.

Contenido de humedad y densidad relativa básica

Se obtuvo una porción de cada espécimen ensayado (flexión, compresión y cortante) al finalizar la prueba correspondiente, la cual fue pesada inmediatamente (PI), después se midió su volumen verde (VV), por el método de inmersión, y finalmente se obtuvo su peso anhidro (PA) secándola en una estufa con circulación forzada de aire, a 103 °C ± 2 °C, por 48 horas. En el caso de ensayos en condición verde el PI y VV se obtuvo inmediatamente al término de los ensayos. En los ensayos en condición seca, el orden de medición fue PI, PA y finalmente el VV saturando el espécimen en agua hasta que no varió su peso. Se calcularon la densidad básica y el contenido de humedad con las ecuaciones 7 y 8.

$$DB = \frac{PA}{VV} \quad 7$$

$$CH(\%) = \frac{PI - PA}{PA} 100 \quad 8$$

Nomenclatura descrita en el Anexo 1.

Para cada propiedad se estimaron el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación, por sección del culmo y contenido de humedad.

Resultados

Los resultados de los ensayos por especie se presentan en las tablas 2 a la 7. Por cada ensayo y especie se presentan el tamaño de muestra ensayada finalmente, ya que por las características propias del material o fallas no aceptadas el número de resultados obtenidos no fue igual para cada especie o sección del culmo.

Los resultados en seco (CH < 30%) se presentan como un índice del comportamiento del bambú secado, ya que el tamaño de muestra es variable y muy pequeño para ser considerado como válido para el material de toda la especie.

En las figuras 5 a 10 se ilustran la diferencias de los valores promedio por sección del culmo (basal, medio y extremo superior) para cada una de las propiedades obtenidas. Para fines comparativos, se han incluido datos de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue., tomados de Zaragoza (2012).

Tabla 2. Resultados de flexión estática en condición verde de tres *Guaduas* nativas de México.

Propiedad	*Sección del culmo*	*Guadua aculeata*			*Guadua amplexifolia*			*Guadua velutina*		
		μ	σ	*cv (%)*	*μ*	σ	*cv (%)*	*μ*	σ	*cv (%)*
Número de especímenes	Basal	14			8			9		
	Medio	14			11			10		
	Extremo	11			10			10		
Contenido de humedad promedio, %	Basal	129			145			184		
	Medio	96			131			162		
	Extremo	67			106			133		
Densidad relativa básica (PA/VV)	Basal	0, 473	0,09	19	0,427	0,03	8	0,391	0,05	13
	Medio	0, 561	0,09	15	0,476	0,05	10	0,430	0,07	15
	Extremo	0, 668	0,11	16	0,546	0,06	12	0,492	0,09	19
Esfuerzo en el límite de proporcionalidad, f_{lp}, MPa	Basal	39,1	13,1	33	46,7	10.4	22	47,6	7,6	16
	Medio	46,1	14,0	30	55,5	12,0	22	51,2	8,1	16
	Extremo	62,2	16,2	26	67,5	16,4	24	61,7	16,5	27
Módulo de ruptura, *MOR*, MPa	Basal	59,7	16,3	27	77,0	13,8	18	75,6	14,2	19
	Medio	66,3	16,7	25	90,9	10,4	11	82,8	9,4	11
	Extremo	89,2	25,1	28	102,1	17,3	17	88,3	21,1	24
Módulo de elasticidad, *MOE*, GPa	Basal	13,8	2,1	15	14,5	2,3	16	15,4	3,3	22
	Medio	16,8	2,7	16	18,3	2,1	11	17,3	2,1	12
	Extremo	19,5	3,1	16	22,7	3,7	16	19,6	3,1	16



TABLA 3. Resultados de flexión estática en condición seca de *Guadua velutina* de la región de Huimanguillo, Tab.

Propiedad	*Sección del culmo*	*Guadua velutina* μ	σ	*cv (%)*
Número de especímenes	Basal	4		
	Medio	2		
	Extremo	3		
Contenido de humedad promedio,%	Basal	17		
	Medio	18		
	Extremo	15		
Densidad relativa básica (PA/VV)	Basal	0, 418	0,09	21
	Medio	0, 475	0,09	19
	Extremo	0, 563	0,05	8
Esfuerzo en el límite de proporcionalidad, f_{lp}, MPa	Basal	38,6	5,1	13
	Medio	--	--	--
	Extremo	50,1	17,7	35
Módulo de ruptura, *MOR*, MPa	Basal	72,2	10,0	14
	Medio	85,0	16,4	19
	Extremo	93,1	9,1	10
Módulo de elasticidad, *MOE*, GPa	Basal	14,8	2,6	17
	Medio	18,2	3,7	21
	Extremo	21,1	2,1	10

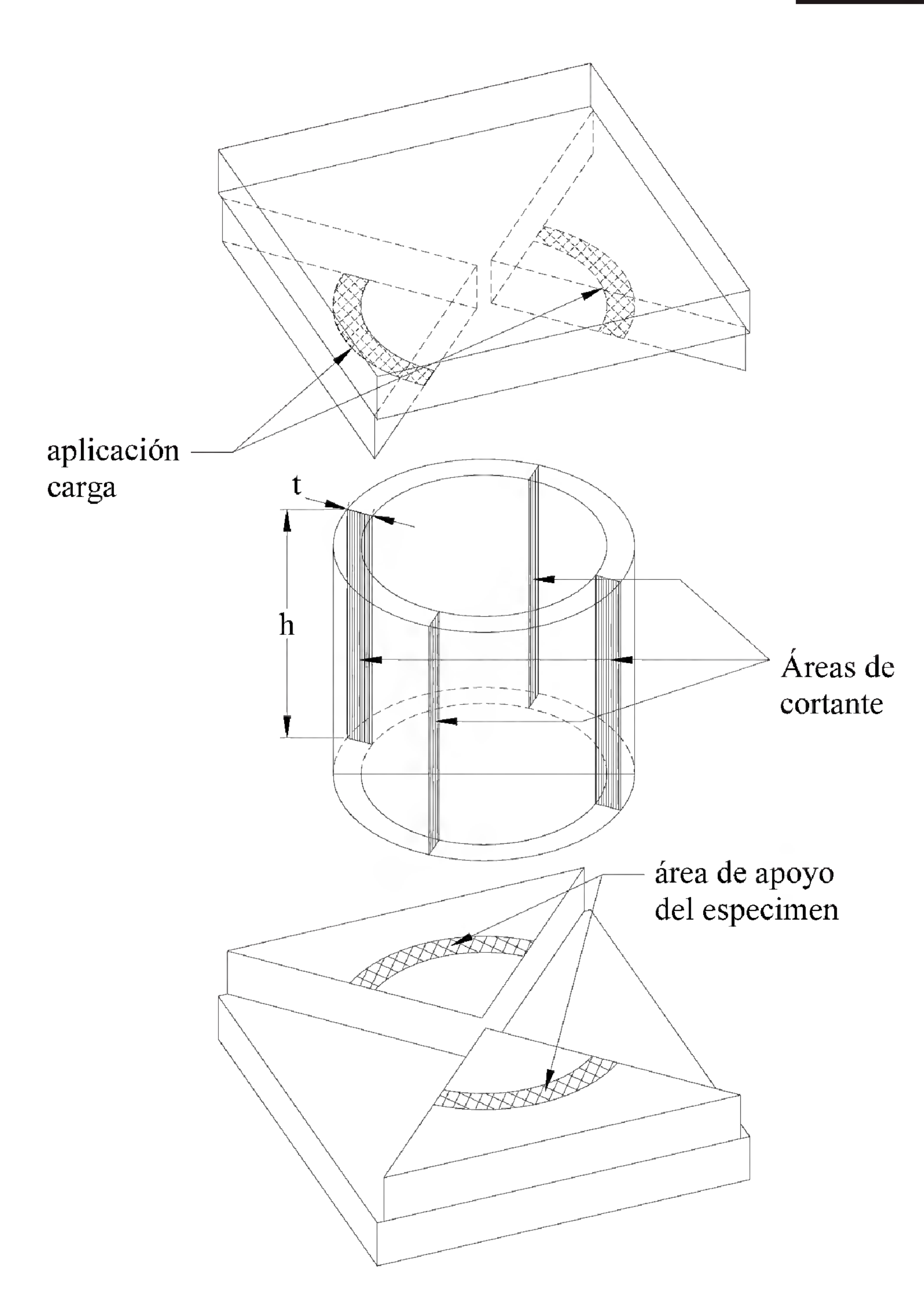


FIGURA 5. Esquema del ensayo de cortante paralelo a la fibra.

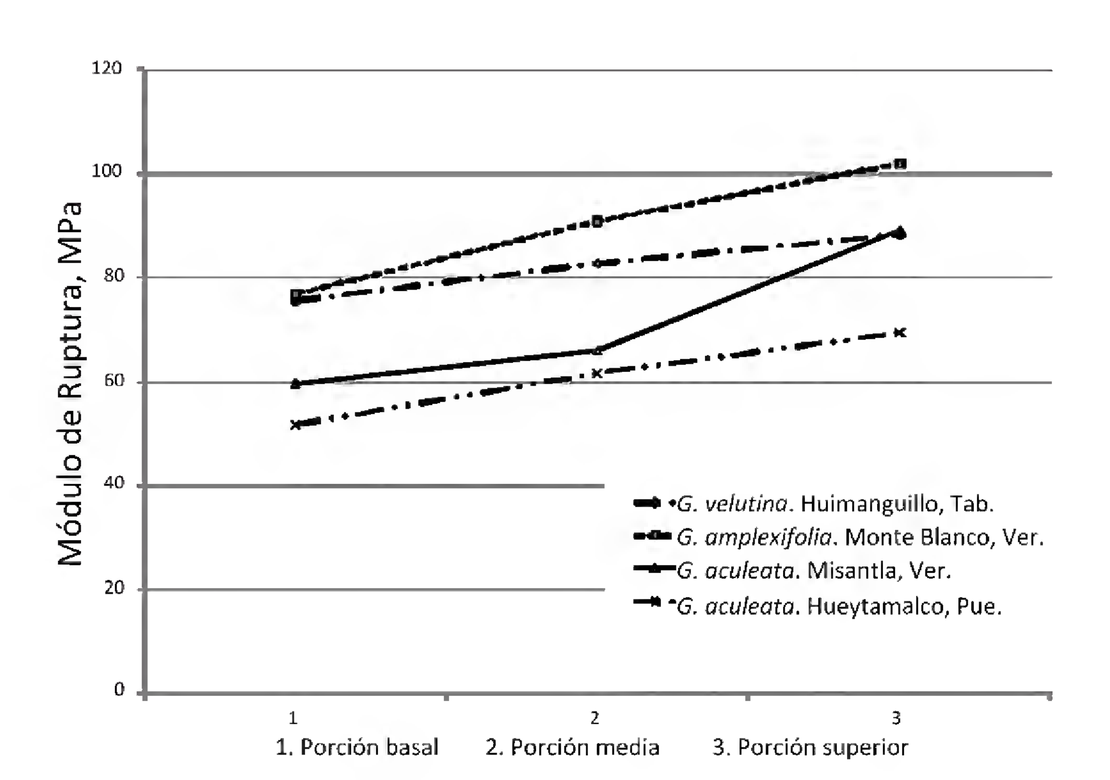


FIGURA 6. Comparación de módulo de ruptura (MOR), promedio por sección de los culmos, en flexión en condición verde de tres *Guaduas* nativas de México.

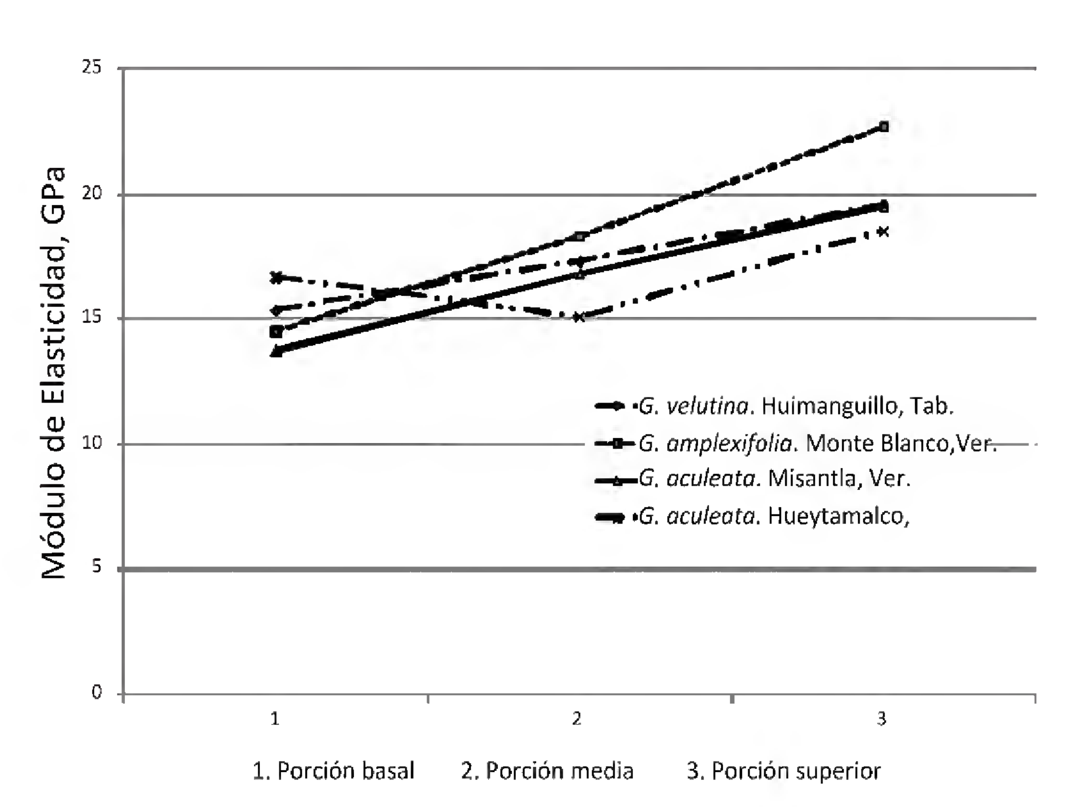


FIGURA 7. Comparación de módulo de elasticidad (MOE), promedio por sección de los culmos, en flexión de tres *Guaduas* nativas de México.

TABLA 4. Resultados de compresión paralela en condición verde de tres *Guaduas* nativas de México.

Propiedad	*Sección del culmo*	*Guadua aculeata*			*Guadua amplexifolia*			*Guadua velutina*		
		μ	σ	*cv (%)*	*μ*	σ	*cv (%)*	*μ*	σ	*cv (%)*
Número de especímenes	Basal	13			13			8		
	Medio	13			11			9		
	Extremo	10			11			12		
Contenido de humedad promedio, %	Basal	146			151			176		
	Medio	113			138			134		
	Extremo	70			114			118		
Densidad relativa básica (PA/VV)	Basal	0,480	0,09	18	0,436	0,07	15	0,386	0,05	12
	Medio	0,542	0,09	17	0,458	0,06	13	0,477	0,075	16
	Extremo	0,677	0,9	13	0,510	0,05	10	0,488	0,10	20
Esfuerzo en el límite de proporcionalidad, f_{lp}, MPa	Basal	16,3	6,9	42	17,5	6,0	35	14,2	3,2	22
	Medio	20,9	9,7	46	22,4	6,4	28	19,3	7,1	37
	Extremo	30,4	6,0	20	26,5	6,8	26	22,3	9,1	41
Esfuerzo máximo en compresión paralela, fc_{max}, MPa	Basal	28,5	8,4	29	24,9	4,3	18	18,8	2,3	12
	Medio	33,5	10,0	30	28,5	4,3	15	26,2	7,3	28
	Extremo	45,4	8,4	19	34,1	5,9	17	28,4	11,0	39
Módulo de elasticidad, *E*, GPa	Basal	8,7	2,4	28	8,4	1,8	22	8,5	4,5	53
	Medio	13,8	5,9	43	10,8	2,7	25	9,9	2,3	23
	Extremo	18,9	4,7	25	12,3	2,9	22	12,6	4,7	37

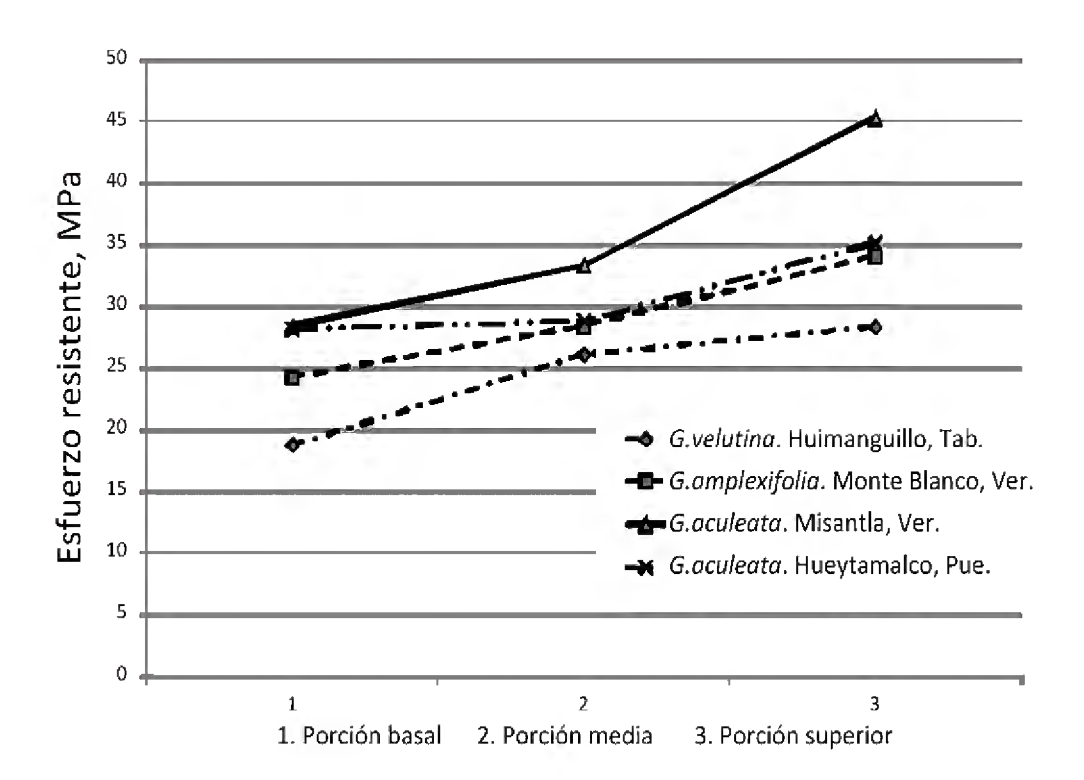


FIGURA 8. Comparación de la resistencia máxima (*fc*), promedio por sección, de los culmos en compresión paralela la fibra en condición verde de tres *Guaduas* nativas de México.

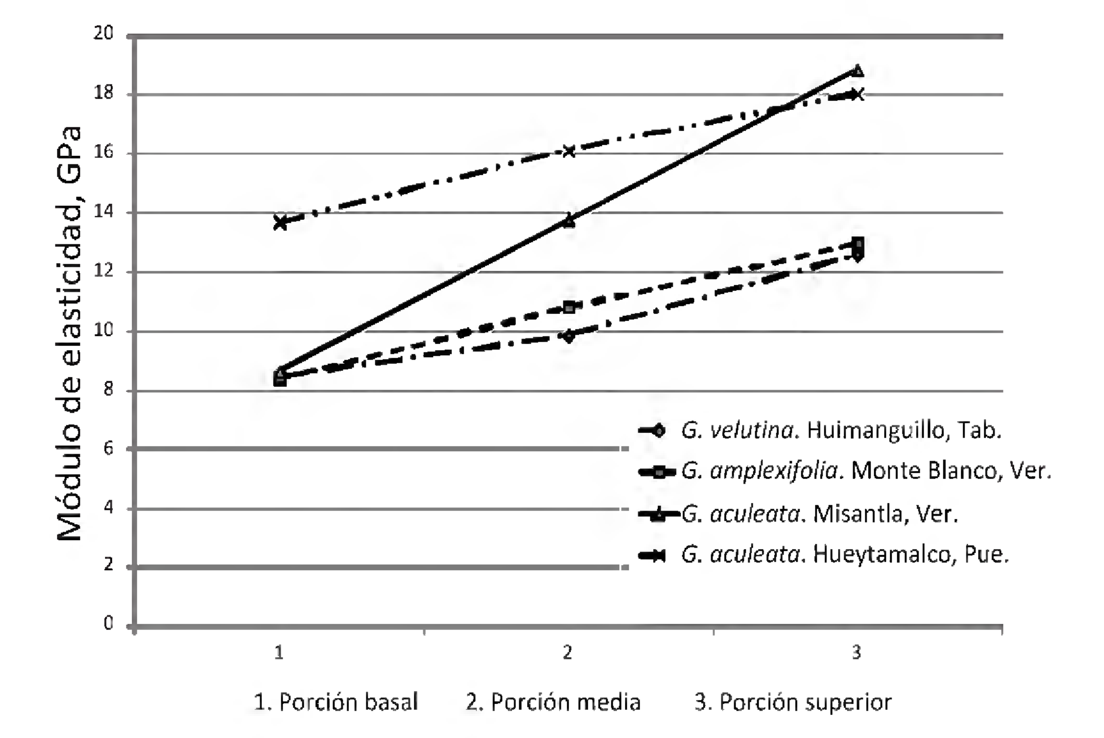


FIGURA 9. Comparación de módulo de elasticidad (*E*) promedio por sección de los culmos en compresión paralela a la fibra en verde de tres *Guaduas* nativas de México.



TABLA 5. Resultados de compresión paralela en condición seca de tres *Guaduas* nativas de México.

Propiedad	*Sección del culmo*	*Guadua aculeata*			*Guadua amplexifolia*			*Guadua velutina*		
		μ	σ	*cv (%)*	*μ*	σ	*cv (%)*	*μ*	σ	*cv (%)*
Número de especímenes	Basal	5			17			3		
	Medio	4			18			7		
	Extremo	2			18			2		
Contenido de humedad promedio, %	Basal	24			24			16		
	Medio	23			22			17		
	Extremo	19			21			15		
Densidad relativa básica (PA/VV)	Basal	0,403	0,08	19	0,360	0,06	16	0,420	0,05	12
	Medio	0,483	0,163	34	0,419	0,05	11	0,473	0,06	12
	Extremo	0,605	--	--	0,475	0,063	13	0,488	--	--
Esfuerzo en el límite de proporcionalidad, f_{lp}, MPa	Basal	23,4	9,9	42	19,5	6,6	34	26,9	6,6	25
	Medio	24,1	18,1	75	23,0	6,1	16	25,5	5,4	21
	Extremo	46,14	--	--	29,5	7,5	25	37,1	--	--
Esfuerzo máximo en compresión paralela, fc_{max}, MPa	Basal	42,33	10,2	24	25,1	5,8	23	29,3	7,8	27
	Medio	52,55	10,5	20	33,6	5,9	18	34,9	7,3	21
	Extremo	66,2	--	--	41,8	8,7	21	46,6	--	--
Módulo de elasticidad, *E*, GPa	Basal	15,1	8,4	56	9,4	2,3	24	12,3	1,6	13
	Medio	17,6	11,2	64	13,8	3,8	27	10,1	1,1	11
	Extremo	18,8	--	--	14,2	3,3	23	20,9	--	--

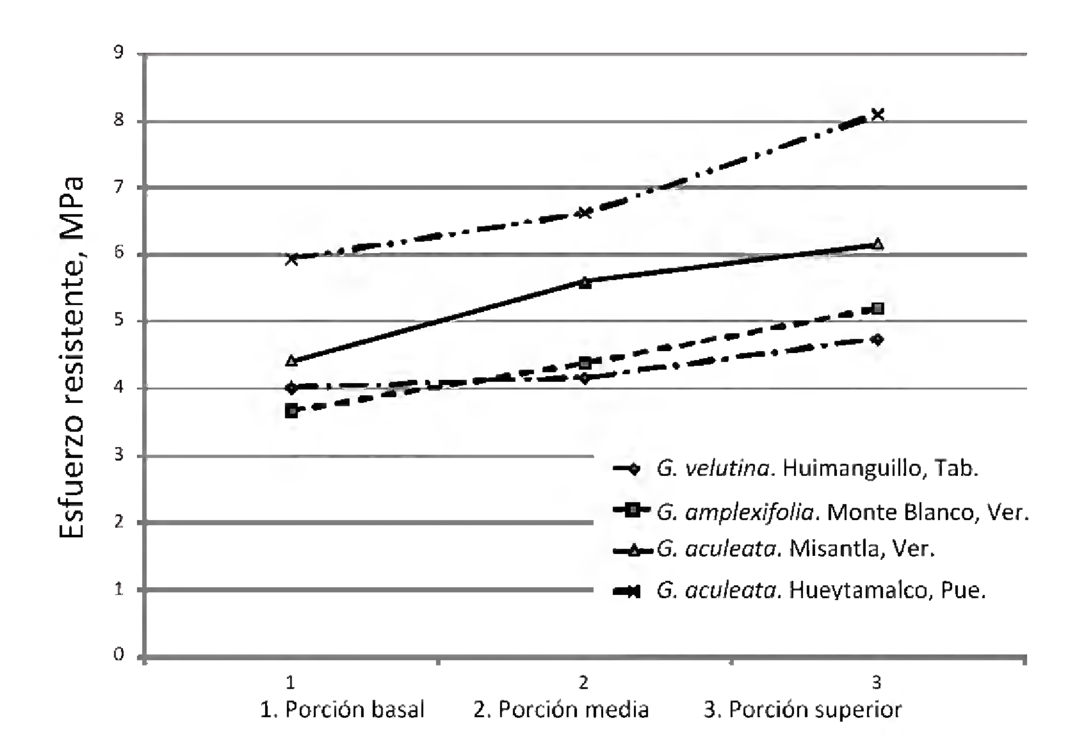


FIGURA 10. Comparación de la resistencia (*fv*), promedio por sección de los culmos, en cortante paralelo a la fibra en verde para tres *Guaduas* nativas de México.

Tabla 6. Resultados de cortante paralelo en condición verde de tres *Guaduas* nativas de México.

Propiedad	*Sección del culmo*	*Guadua aculeata*			*Guadua amplexifolia*			*Guadua velutina*		
		μ	σ	*cv (%)*	*μ*	σ	*cv (%)*	*μ*	σ	*cv (%)*
Número de especímenes	Basal	15			10			10		
	Medio	15			10			11		
	Extremo	10			10			10		
Contenido de humedad promedio, %	Basal	147			195			189		
	Medio	109			152			158		
	Extremo	85			129			136		
Densidad relativa básica (PA/VV)	Basal	0,447	0,09	20	0,386	0,059	15	0,388	0,071	18
	Medio	0,535	0,107	20	0,449	0,04	9	0,443	0,073	17
	Extremo	0,619	0,131	21	0,500	0,046	9	0,499	0,09	18
Esfuerzo máximo en cortante paralelo, fv_{max}, MPa	Basal	4,4	1,8	40	3,7	0,9	25	4,0	1,2	30
	Medio	5,6	2,6	28	4,4	0,9	21	4,2	1,3	30
	Extremo	6,2	1,8	29	5,2	1,0	20	4,8	1,3	27

Tabla 7. Resultados de cortante paralelo en condición seca de tres *Guaduas* nativas de México.

Propiedad	*Sección del culmo*	*Guadua aculeata*			*Guadua amplexifolia*			*Guadua velutina*		
		μ	σ	*cv (%)*	*μ*	σ	*cv (%)*	*μ*	σ	*cv (%)*
Número de especímenes	Basal	4			15			3		
	Medio	4			16			5		
	Extremo	5			16			--		
Contenido de humedad promedio, %	Basal	34			22			18		
	Medio	19			21			17		
	Extremo	17			21			--		
Densidad relativa básica (PA/VV)	Basal	0,341	0,040	12	0,357	0,056	16	0,392	0,089	23
	Medio	0,539	0,117	22	0,425	0,058	14	0,505	0,153	30
	Extremo	0,698	0,107	15	0,500	0,093	19	--	--	--
Esfuerzo máximo en cortante paralelo, fv_{max}, MPa	Basal	7,7	2,5	32	4,5	1,1	25	4,5	1,3	29
	Medio	10,3	2,3	22	5,7	1,1	20	6,8	2,9	42
	Extremo	11,6	5,0	43	7,2	2,0	28	--	--	--



Discusión

Como se observa en las tablas 2 a 6, el número de especímenes por tipo de prueba y culmos ensayados en condición verde satisface lo establecido por Janssen (1999a y 1999b); lo que no fue posible alcanzar para los ensayos en condición seca, ya que durante el proceso de secado se colapsaron varios de los culmos, presentando características no deseables para ser ensayados. De aquellos que sí se obtuvieron especímenes para ensayo, los resultados obtenidos presentaron una alta dispersión. Algunos se descartaron al momento del ensayo sin incluirlos en el análisis; los que se presentan sólo son un índice del comportamiento del material ensayado, y no representan el comportamiento real del material proveniente de las guaduas estudiadas.

Los resultados de este trabajo muestran las tendencias que se mencionan en casi todas las investigaciones que se realizan con este material, en general la resistencia y la densidad de los culmos se incrementa de la base a la punta. Las proporciones de incremento varían de especie a especie (Mohmod *et al*., 1993; Luna *et al*., 2013, Correal y Arbeláez, 2010; Kamruzzama *et al*., 2008; Lindholm y Palm, 2007).

Durante el periodo de realización de este estudio no se encontró información publicada sobre ensayos mecánicos o físicos para alguna de las tres especies estudiadas. En el nivel nacional Zaragoza (2012) realizó una serie de ensayos con *G. aculeata*, de la región de Hueytamalco, Puebla, obteniendo resultados similares en cuanto a su resistencia y densidad que los obtenidos para las guaduas motivo de este trabajo. Con fines comparativos, en las figuras 6 a 10, se muestran los resultados de los ensayos en condición verde para estas cuatro especies.

En el ensayo de flexión (Tabla 2, Fig. 6), en promedio, los valores de MOR en condición verde de las tres secciones de *G. velutina* y *G. amplexifolia* resultaron ligeramente mayores que los de *G. aculeata,* (70,4 MPa). El valor promedio de MOR de la muestra de *G. aculeata* resultó 17% más alto que el obtenido por Zaragoza (2012) (61,0 MPa) (Fig. 6), y también más alto que el encontrado para la misma especie, en Colombia (Sotela, 1990) y Ecuador (Luna *et al*., 2013), aunque más bajo que los presentados por Correal y Arbeláez (2010) para la misma especie, todos en condición verde. Los resultados para módulo de elasticidad (MOE) (Tabla 2, Fig. 7), en promedio para condición verde, no mostraron una marcada diferencia entre las tres especies de este estudio y los publicados para *G. aculeata* del estado de Puebla (Zaragoza, 2012). No se encontraron datos para estas especies ensayadas en su forma tubular en condición seca.

Los resultados de las pruebas de compresión paralela a la fibra, en condición verde (Tabla 4, Fig. 8), muestran que los valores de resistencia máxima (*Fc*), en promedio para *G. aculeata* (34,9 MPa) son más altos que los que presentaron *G. velutina* (25,1 MPa) y *G. amplexifolia* (28,6 MPa); Contrastando los resultados, en condición verde, con los publicados *para G. angustifolia*, Luna *et al*. (2007) presentan valores menores a los que se registraron para las guaduas mexicanas (19,1 MPa a 23,3 MPa) con material recolectado en Ecuador; mientras que Correal y Arbeláez (2010) presentan valores semejantes a los de *G. aculeata* y ligeramente más altos para las otras dos especies estudiadas. La resistencia máxima en compresión (*Fc*) en verde de *G. aculeata* es semejante a la obtenida para la misma especie y condición de humedad por Zaragoza (2012). En seco, Takeuchi y González (2007), obtuvieron valores promedio de 56,2 MPa para *G. angustifolia* de diversas localidades de Colombia, semejante al obtenido, en promedio, con *G. aculeata* (50,4 MPa) de este trabajo (Tabla 4), y más alto que el que se calculó para las otras dos especies. Zaragoza (2012) a su vez obtuvo valores semejantes para *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue. Respecto al módulo de elasticidad en compresión (*E*), en promedio, el valor obtenido para *G. aculeata* es aproximadamente 30% más alto que los obtenidos para *G. velutina* y *G. amplexifolia*. (Tablas 4 y 5, Fig. 9) en ambas condiciones. Para *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., Zaragoza (2012) presenta valores más altos en ambas condiciones de humedad, Correal y Arbeláez (2010) también presentan valores más altos a los obtenidos en este estudio para la misma especie, en condición

verde. A su vez, Takeuchi y González (2007) obtuvieron valores promedio, similares a los obtenidos en este trabajo para *G. aculeata*, y mayores, en promedio que los obtenidos aquí para *G. amplexifolia y G. velutina*.

En cortante paralelo a la fibra (Tablas 6 y 7, Fig. 10), en promedio, se observa que *G. aculeata* en condición verde tuvo una resistencia (5,31 MPa) casi 25% mayor, que la obtenida para *G. velutina* (4,03 MPa) y *G. amplexifolia* (4,40 MPa. En esta misma condición, Luna *et al.* (2013) obtuvieron, en promedio una resistencia menor para *G. angustifolia* (3,5 MPa a 4,3 MPa) que la obtenida aquí para *G. aculeata* y semejante a la de las otras dos especies incluidas en este trabajo. Correal y Arbeláez (2010), obtuvieron valores más altos (7,3 MPa a 7,9 MPa) para *G. angustifolia*, mientras que los valores determinados por Zaragoza (2012) para *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue., en especímenes sin nudo y en ambas condiciones de humedad son similares, en promedio, a los presentados por *G. aculeata* y ligeramente mayores que los de las otras dos especies de este trabajo. Pantoja (2005) presenta valores de resistencia en cortante para *G. angustifolia* con especímenes sin nudo en condición seca, con material de diferentes localidades de Colombia: de Armenia 7,09 MPa, de Tierradentro 6,72 MPa y de Silvania 7,33 MPa; en promedio ligeramente mayores que los encontrados para las guaduas mexicanas. Sotela (1990) presenta valores de resistencia en cortante para especímenes de *Guadua angustifolia* con entrenudo y en condición seca (6,40 MPa) menores que los determinados aquí para *G. aculeta* (10,0 MPa) y semejantes a los obtenidos para *G. amplexifolia* y *G. velutina*.

En general el comportamiento de las tres especies fue semejante al encontrado para *G. angustifolia* y *G. chacoensis* por Luna *et al.* (2013); Correal y Arbaláez (2010) y Flores, 2008, quienes realizaron los ensayos en las mismas condiciones que las del presente estudio, es decir en culmos completos. Se hizo la comparación con los resultados de trabajos realizados principalmente con *G. angustifolia* por ser una especie con características parecidas a las de *G. aculeata*.

Conclusiones

Los resultados de este trabajo representan una base para futuras investigaciones sistematizadas para generar mayor información sobre las características de los bambúes, especialmente para su uso en la construcción, sobre las que no existe información similar.

Con base en los resultados obtenidos se puede afirmar que las especies de guadua que crecen el México, sobre todo *G. aculeata* tiene propiedades similares y en algunos casos superiores a los de *G. angustifolia*, que está identificada como una especie excelente para ser usada en construcciones, y que por no contar con información de las especies nativas, se está utilizando en las plantaciones que se han venido estableciendo en México.

Es necesario realizar más trabajos de investigación y transferencia de sistemas y prácticas de manejo de las plantaciones y cultivares de las guaduas mexicanas que crecen de manera natural para poder obtener culmos más rectos que los que se encuentran actualmente, esto permitirá utilizarlo sin los problemas que presenta un tallo curvo.

Además de la caracterización tecnológica de los bambúes que crecen en México y que se están usando en construcciones por quienes están entusiasmados con este material es necesario ampliar la investigación a otros temas como uniones, comportamiento de elementos de tamaño real (pandeo de columnas), vigas compuestas, muros de carga sujetos a acciones laterales, armaduras, etcétera

Con más estudios como este, se incrementará la base estadística para obtener valores de diseño confiables para una propuesta de norma de diseño y construcción con bambú.

Reconocimientos

Los fondos para este trabajo fueron del Proyecto Conafor-Conacyt 2002-C01-567 Caracterización tecnológica de las especies mexicanas de guadua (*Poaceae bambusoideae*) y sus aplicaciones en la construcción. Los autores reconocen el apoyo de José Luis Martínez Castillo en la recolecta y preparación de material de ensayo, de Ignacio



Salomón Quintana en la recolecta, preparación de material y realización de los ensayos y de Paula Zárate Morales en la preparación de los ensayos. También agradecen a dos revisores anónimos por sus aportaciones para mejorar este manuscrito.

Referencias

Ángeles A., G., C. Madero V. y F. Ortega-Escalona. 2005. Anatomía de especies mexicanas de bambú. 1er Congreso Mexicano del bambú. Xalapa de Enríquez, Ver. México. 8 a 10 de diciembre. p:102-103.

Beetle, A.A., E. Manrique F., V. Jaramillo L., P. Guerrero S., A. Miranda S., I. Núñez T. y A. Chimal H. 1987. Las gramíneas de México. Tomo II. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, COTECOCA. México. 344 p.

Cobos F., J.A. y X.A. León R. 2007. Propiedades físicas-mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASA II. Tesis Licenciatura. Carrera de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador. 134 p.

Correal D., J.F. y J. Arbeláez C. 2010. Influence of age and height position on Colombian *Guadua angustifolia* bamboo mechanical properties. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 12(2):105-113.

Cortés R., G.R. 2000. Los bambúes nativos de México. Conabio. *Biodiversitas* 30:12-15.

Cortés R., G.R. 2005a. El bambú en Veracruz. Bambúes de México. Bio Bambú, Revista Electrónica www.bambumex.org. 1 p. Consultada 2013-02-20.

Cortés R., G.R. 2005b. Viviendas de Bambú en México. Bambúes de México. Bio Bambú, Revista Electrónica www.bambumex.org. 1 p. Consultada 2013-02-20.

Cruz R., H. 1994. La Guadua: Nuestro Bambú. Corporación Autónoma Regional del Quindío. Centro Nacional para el Estudio del Bambú Guadua. Colombia. 293 p.

Flores R., J. 2008. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la tacuara (*Guadua chacoensis*), Santa Cruz-Bolivia. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno. Facultad de Ciencias Agrícolas. Carrera de Ingeniería Forestal.

Gómez S., E. 2002. Determinación de la resistencia del bambú en flexión. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 93 p.

Gutiérrez C., L., J. Dorantes L. 2005a. Especies forestales de uso tradicional en Veracruz: el tarro amarillo *Guadua aculeata*. 1er Congreso Mexicano del bambú. Xalapa de Enríquez, Ver. México. 8 a 10 de diciembre. p:108-109.

Gutiérrez C., L. y J. Dorantes L. 2005b. Especies forestales de uso tradicional en Veracruz: el otate *Guadua amplexifolia*. 1er Congreso Mexicano del bambú. Xalapa de Enríquez, Ver. México. 8 a 10 de diciembre. p:110-111.

Hidalgo L., O. 1978. Nuevas técnicas de construcción con bambú. Estudios Técnicos Colombianos Ltda. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 137p.

Hidalgo, O. 2003. Bamboo the gift of the gods. 1ª ed. Editorial D'VINNI Ltda. Colombia. 553 p.

Janssen, J.A., J. 1999a. Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo. International Network on Bamboo and Rattan, INBAR, 3rd Draft. 29 p.

Janssen, J.A., J. 1999b. INBAR Standard for determination of physical and mechanical properties of bamboo International Network on Bamboo and Rattan, INBAR, 3rd Draft. 26 p.

Janssen J.A., J. 2000. Design and building with bamboo. Technical report No. 20, INBAR. Technical University of Eindhoven. Eindhoven. Países Bajos. 211 p.

Kamruzzama, M., S.K. Saha, A.K. Bose y M.N. Islam. 2008. Effects of age and height on physical and mechanical properties of bamboo. *Journal of Tropical Forest Science* 20(3):211–217.

Li, X. 2004. Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. Tesis de maestría. Agricultural and Mechanical College. Luisiana State University. School of Renewable Natural Resources. 76 p.

Lindholm, M., y S. Palm. 2007. *Guadua chacoensis* in Bolivia - an investigation of mechanical properties of a bamboo species. Tesis de Maestría. Department of Management and Engineering. Centre for Wood Technology & Design. University of Linköping. 145 p.

Luna, P., J. Lozano, y C. Takeuchi. 2013. Determinación experimental de valores característicos de resistencia para *Guadua angustifolia*. *Maderas, Ciencia y Tecnología*. *http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2014005000007*. Consultado 2013-12-16.

Mejía S., M.T. y G. Castillo C. 1987. El Bambú. Inireb Informa, Comunicado No. 81. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver. México. 4 p p.

Mohmod, A.L., A.H. Amin, J. Kasim, y M.Z. Jusuh. 1993. Effects of anatomical characteristics on the physical and mechanical properties of *Bambusa blumeana*. *Journal of Tropical Forest Science* 6(2):159-170.

Ordóñez C., V.R. 1999. Perspectivas del bambú para la construcción en México. *Madera y Bosques* 5(1):3-12.

Ordóñez C., V.R. e I. Salomón Q. 2009. Consideraciones geométricas en la determinación de las propiedades en flexión estática de bambú. *Madera y Bosques* 15(1):91-100.

Osorio, J.A., J.M. Vélez y H.J. Ciro. 2007. Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. *Dyna* 74(153):81-94.

Pantoja T., N. H. y J. Acuña, D.F. 2005. Resistencia al corte paralelo a la fibra de la *Guadua angustifolia*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D.C. 94 p.

Pohl. R.W. y G. Davidse. 1994. Subtribus Guaduinae. *In*: G. Davidse, M. Sousa Sánchez y A.O. Chater, eds. Alismataceae a Cyperaceae. Flora Mesoamericana Vol. 6. UNAM. México, D.F. p:194-196.

Rodríguez R., J.C. 2006. El bambú como material de construcción. *Conciencia Tecnológica* 031:67-69.

Sotela M., J. 1990. Determinación de propiedades físicas y mecánicas del bambú de la especie *Guadua* de dos zonas de Costa Rica. Informe final para el proyecto Nacional de Bambú (Proyecto PNUD-COS 87/001 Aprovechamiento del bambú en la construcción de vivienda de interés social), mayo 1990. Gobierno de Holanda, MIVAH, PNUD, HABITAT, OIT, BCIE. Universidad de Costa Rica. Laboratorio de Productos Forestales, Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales. 65 p.

Tamolang, F.N., F.R. López, J.A. Semana, R.F. Casin y Z.B. Espiloy. 1980. Properties and utilization of Philippine erect bamboo. *Forpride Digest* IX(3-4):14-27.

Takeuchi T., P.C. y C.E. González. 2007. Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad. *Ingeniería y Universidad* 11(001):89-103.

Valero, S.W., E. Reyes y W. Contreras. 2005. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del bambú (*Bambusa vulgaris*), de tres años de edad y proveniente de las plantaciones ubicadas en la ribera de la margen derecha del río Chama, municipio Francisco Javier Pulgar, estado Zulia, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana* 37:87-107.

Villegas, M. 2003. Guadua, arquitectura y diseño. 1ª ed. Villegas asociados S.A. Colombia. 207 p.

Zaragoza H., I. 2012. Anatomía y propiedades físico-mecánicas del culmo de bambú (*Guadua aculeata* Rupr.) de la región nororiental del estado de Puebla. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco. Edo, de México. 58 p.

Manuscrito recibido el 8 de agosto de 2013.
Aceptado el 2 de mayo de 2014.

Este documento se debe citar como:
Ordóñez-Candelaria, V.R. y G.M. Bárcenas Pazos. 2014. Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (*Guadua aculeata, Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*). *Madera y Bosques* 20(2):111-125.



Anexo 1

Descripción de términos

I = momento de inercia de la sección, mm^4 $I = \frac{\left[De_{prom}^4 - (De_{prom} - 2t)^4\right]}{64}$

PA = peso anhidro, g

PI = peso inicial, g

VV = volumen verde, cm^3

Ac = área en compresión, mm^2

Av = área de cortante, mm^2 $Av = 4(e\,h)$

De_{prom} = diámetro exterior promedio, mm

P_{lp} = carga en el límite de proporcionalidad, N

P_{max} = carga máxima, N

$c.v.$ = coeficiente de variación

h = longitud promedio del espécimen de cortante, mm

l = claro de carga, mm

l_c = longitud de medición de deformación en compresión, mm

e = espesor promedio de las paredes del espécimen, mm

δ = deformación en el límite de proporcionalidad medido al centro de la viga, mm

μ = promedio

σ = desviación estándar

Madera y **Bosques** vol. **20**, núm. **2 : 127-140** Verano **2014**



Aptitud ecoturística en la sierra nevada de Texcoco, Estado de México

Ecotourist flair in the sierra nevada of Texcoco, Mexico state

Marcelino A. Pérez-Vivar[1], Manuel de J. González-Guillén[1], J. René Valdez-Lazalde[2], Héctor M. de los Santos-Posadas[2] y Gregorio Ángeles-Pérez[2]

1 Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. México. marcelpv@colpos.mx

2 Postgrado Forestal, Colegio de Posgraduados. Montecillo, Edo. México. manuelg@colpos.mx, valdez@colpos.mx, hmsantos@colpos.mx, gangeles@colpos.mx.

Resumen

En el presente estudio se puso en operación un sistema de cómputo (*software*) desarrollado *ad hoc* para determinar la aptitud de áreas forestales para la realización de actividades ecoturísticas, dicho estudio se realizó en la Sierra Nevada de Texcoco, Estado de México. El sistema utiliza como insumos información sobre condiciones del ambiente relevantes para el desarrollo adecuado de actividades ecoturísticas, expresadas como una jerarquía de criterios, subcriterios y variables, así como información temática del área de evaluación. La información referente a las condiciones del ambiente se recolectó a través de una encuesta aplicada a instructores de niños exploradores, profesores de licenciatura y postgrado, estudiantes en el último año de licenciatura e integrantes de una asociación civil, todos ellos relacionados con el tema de ecoturismo. Con respecto a la información temática, se utilizaron mapas digitales bajo sistema de coordenadas UTM NAD27 correspondientes a la carta Chalco "E14B31", escala 1:50000 de INEGI. Como resultado, el sistema generó mapas de aptitud con valores en un gradiente de 0 a 1 para las actividades de campismo, caminata y día de campo, en donde el valor 1 indica la presencia de condiciones ideales para el desarrollo de la actividad y cero la ausencia total. Adicionalmente se evaluó el funcionamiento del sistema, mostrando un desempeño confiable y constatando que posee gran potencial para la representación de relaciones complejas, cualidades que le pueden llevar representar una herramienta valiosa, eficaz y eficiente como instrumento de apoyo al proceso de toma de decisiones y planificación del uso de la tierra.

Palabras clave: SIG, evaluación multicriterio, ecoturismo.

Abstract

In the present study a computer (software) system was developed in order to determine the potential of forest areas for performing ecotourist activities; such study was carried out in the Sierra Nevada of Texcoco, State of Mexico. The system utilizes as input information about conditions of the environment, important for adequate development of ecotourism activities, expressed as rank of criteria, sub-criteria, and variables, as well as subject matter information of the area of evaluation. The information, regarding the conditions of environment, was gathered by means of survey, applied to instructors of scout children, professors of university and postgraduate degree, students in the last year of degree, and members of civil associations, related all of them to the topic of ecotourism. With respect to thematic information, digital maps were used under the system of UTM NAD27 coordinates, corresponding to the letter Chalco "E14B31", INEGI scale 1:50000. As a result, the system generated maps of capacity with values in a gradient from 0 to 1 for the activities of camping, long walk (hiking), and days out in the open, where value 1 indicates the presence of conditions, ideal for the development of the activity, and zero for its total absence. Additionally, the functioning of the system was evaluated demonstrating reliable performance and verifying of being endowed of potential for the representation of complex relations, qualities which may lead to stand for a valuable tool, efficacious and efficient as an instrument of support for the process of decision-taking and planning of land use.

Key words: GIS, multiple criteria evaluation, ecotourism.

Introducción

La importancia de la naturaleza en la existencia del ser humano es incuestionable. Existen alrededor de 30 funciones de interés para el hombre que tienen lugar en los ecosistemas (por ej., las áreas recreativas y facilidades para el turismo) (De Groot, 2006), lo que proporciona una serie de valores sociales que se constituyen en elemento fundamental para la salud física y mental (Gómez y De Groot, 2007).

El turismo ha crecido vertiginosamente impactando los ambientes en los que se desarrolla (Kimmel, 1999), masificándose al grado de amenazar los ambientes donde se practica (Pérez de las Heras, 2003). Por ello, el ecoturismo surge como alternativa que busca establecer una relación benéfica entre sociedad-naturaleza-comunidad local (Wunder, 1999); sin embargo, su desarrollo enfrenta el reto de conjuntar la visión de crecimiento sin límites con la visión de limitar el desarrollo imponiendo criterios de baja intensidad y mínimo impacto ecológico (Chávez, 2005), un reto que no siempre se alcanza. Por lo anterior, es vital que la planificación de una iniciativa de ecoturismo se desarrolle de acuerdo con la aptitud y capacidad de un ambiente (López y Triviño, 2004).

Han existido experiencias que abordan el estudio de la potencialidad ecoturística desde la perspectiva de la *aptitud*[1] de los espacios para el desarrollo del ecoturismo. En ellas se observan diversidad de objetivos y metodologías específicas de tipo cualitativo y cuantitativo, siendo las últimas las de mayor confiabilidad (Pérez *et al.*, 2012). Un elemento común en algunas metodologías de tipo cuantitativo son las herramientas en el ámbito de la "Toma de Decisiones"[2]; por ejemplo la Evaluación Multicriterio (EMC), la cual emplea técnicas como la Combinación Lineal Ponderada, Electre, Proceso Jerárquico Analítico (Saaty, 1990) y Promethee, en donde el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye un elemento común (Franco *et al.*, 2009; Kenan, 2006; Blancas *et al.*, 2009).

En su mayoría, las metodologías de tipo cuantitativo abordan la aptitud ecoturística evaluando condiciones físicas de un espacio y contrastándolas con aquellas requeridas para el desarrollo del ecoturismo entendido éste como "una modalidad turística que consiste en la visita a áreas naturales con poca perturbación para apreciar sus atractivos naturales así como cualquier manifestación cultural, en un proceso que promueve la conservación y que involucra a las comunidades locales" (Ceballos, 1998), sin hacer énfasis en que el ecoturismo contempla una diversidad de actividades con características específicas.

En la Sierra Nevada del municipio de Texcoco, han surgido iniciativas de proyectos de ecoturismo, con el afán de aprovechar en forma sustentable la belleza paisajística de sus áreas forestales (Caballero, 2007). Ello hace necesario contar con trabajos que determinen la aptitud ecoturística de los terrenos con base en la medición de variables del medio físico y la generación de un valor de compatibilidad entre éstas y un uso específico.

El presente trabajo constituye un estudio preliminar, que en una mecánica distinta a los trabajos realizados anteriormente, evalúa la aptitud ecoturística de una región estableciendo actividades ecoturísticas específicas y definiendo para ellas las condiciones biofísicas (cartografiables) del medio más apropiadas para su desarrollo. Posterior a ello se aplica un software que integra una metodología para la generación de valores de aptitud. El software se diseñó *ad hoc* para evaluar la aptitud ecoturística (Pérez *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2011) mediante el desarrollo de un modelo conceptual que combina herramientas de evaluación multicriterio con operaciones SIG, y que contrasta los requerimientos ambientales necesarios para el desarrollo de una actividad ecoturística específica, con las características biofísicas del espacio disponible para generar valores de aptitud. La finalidad del proceso es la obtención de un mapa de aptitud que identifique las áreas más adecuadas para el desarrollo de cada actividad de interés.

1 La aptitud del suelo está dirigida a la evaluación de los recursos naturales y la regulación de actividades humanas en un espacio (Bandyopadhyay *et al.*, 2009) identificando la capacidad de una unidad de suelo para alojar un uso con base en requerimientos específicos (suelo, precipitación, temperatura, otros) y preferencias (Bojórquez *et al.*, 1999).

2 "Serie de conceptos teóricos y articulaciones lógicas que pretenden explicar y predecir el comportamiento de los agentes tomadores de decisiones" (Romero, 1993).



No se pretende que el trabajo sea exhaustivo, es un estudio exploratorio cuya relevancia radica en presentar una metodología para abordar la evaluación de la aptitud ecoturística. La información generada para efectuar la determinación de aptitud es solo una muestra del gran universo de vías para determinar los gustos y las preferencias en las cualidades que un espacio debe poseer para realizar una actividad específica. Se intenta que el estudio constituya una referencia para futuros y necesarios trabajos de investigación y que, en conjunto, puedan lograr una aproximación cada vez mayor al entendimiento del complejo problema que involucra la aptitud ecoturística.

Objetivo

Aplicar un sistema de cómputo (*software*) en el ámbito de los SIG para determinar la aptitud de zonas con potencial para el desarrollo de actividades ecoturísticas en áreas forestales de la Sierra Nevada de Texcoco, México.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la zona oriente del estado de México y corresponde a la zona montañosa ubicada en la porción oriental del municipio de Texcoco. Dicha área pertenece a la región fisiográfica conocida como Sierra Nevada, la cual forma parte del eje volcánico transversal (Sánchez y López, 2003). Aunque el área de interés es la zona de la Sierra Nevada bajo influencia del municipio de Texcoco, ésta se trabajó como parte de la zona de cobertura de la Carta "Chalco" del INEGI clave "E14B31" (INEGI, 1982), acotada por las coordenadas 19°15´00´´ N a 19°30´00´´ N y 98°40´00´´ O a 99°00´00´´ O (Fig. 1); la finalidad de procesar la información de la carta completa fue propiciar una mayor carga de operación al *software* para verificar su funcionamiento.



Figura 1. Área de estudio.

En esta zona se presenta un intervalo altitudinal que va de los 2103 msnm a los 4127 msnm con una alta diversidad de paisajes cuyos principales tipos de vegetación son el bosque de pino, oyamel, pino-oyamel-encino, pino-aile-encino, pino-encino y pastizal (Sánchez y López, 2003). La tenencia de los terrenos es uso común, bajo régimen ejidal, pertenecientes a las diferentes comunidades asentadas en las faldas de la sierra. Los terrenos han estado sujetos a aprovechamiento forestal bajo administración directa de los ejidos. Por la belleza de sus paisajes, la zona recibe gran afluencia de visitantes a lo largo del año, razón por la cual se ha pensado en el desarrollo de proyectos ecoturísticos como posible alternativa al aprovechamiento forestal (Martínez, 2005).

Base de datos cartográfica

Se utilizaron mapas digitales correspondientes a la carta Chalco "E14B31" de INEGI (1982) en escala 1:50 000 bajo un sistema de coordenadas UTM NAD27; los temas usados corresponden a los rasgos de áreas urbanas, vías de transportación, rasgos hidrográficos puntuales, corrientes y vías de conducción de agua y uso de suelo y vegetación, todos ellos en formato vectorial así como un modelo digital de elevaciones (MDE) con resolución espacial de 30 m, en formato *raster*. En este sentido se hizo acopio y uso de la información existente; la generación de información temática de mayor detalle, aunque benéfica para su desarrollo, escapa a los objetivos del trabajo, recalcando que se trata de un estudio exploratorio.

Proceso

El proceso metodológico se describe en las cuatro etapas generales siguientes:

Etapa 1. Conformación de la información de condiciones del ambiente

Esta información se refiere a los requerimientos del ambiente necesarios para el desarrollo de una actividad ecoturística específica, expresados como una jerarquía de criterios y variables, así como a juicios de valor respecto de la importancia o prioridad relativa con la que cada variable y criterio participa dentro del proceso de evaluación de aptitud. Las variables de interés fueron: distancia a núcleos de población y distancia a caminos bajo el criterio *Accesibilidad*; pendiente del terreno bajo el criterio *Topografía*; distancia a manantiales y distancia a cauces de agua bajo el criterio *Agua*; y tipo de vegetación bajo el criterio *Vegetación*. Éstas se obtuvieron mediante cuestionarios aplicados a personas que practican alguna actividad ecoturística.

Diseño del cuestionario

Para obtener la información de "condiciones del ambiente", se diseño, calibró y aplicó un cuestionario de 20 preguntas agrupadas en tres secciones: (a) Datos de identificación; (b) Información de condiciones del ambiente necesarias para practicar la actividad ecoturística de interés y (c) Valores de importancia o prioridad relativas para criterios y variables.

En la sección (a) del cuestionario, se propusieron actividades de campismo, caminata y día de campo; adicionalmente, se dejó opción para que el encuestado pudiera anotar cualquier otra actividad diferente a las anteriores y así poder indicar la actividad preferente para la cual aporta la información. En la sección (b) se incluyeron preguntas sobre condiciones del ambiente asociadas a rasgos cartografiables porque es requisito para el proceso que cada condición (variable) esté acompañada de la información temática correspondiente (en forma de mapas digitales). En la sección (c) se captó información de la participación de cada condición, ya sea criterio o variable, a través de un valor de importancia o prioridad.

Se aplicaron 46, 27 y 23 encuestas para las actividades ecoturísticas de campismo, caminata y día de campo, respectivamente; para ello no se definió un tamaño de muestra sino que se buscó al mayor número posible de personas que tuvieran cierto grado de conocimiento y experiencia de los requerimientos biofísicos y de facilidades para el desarrollo de las actividades ecoturísticas en la zona; de esta forma, la encuesta se aplicó a instructores de grupos de niños exploradores, profesores con estudios de licenciatura o postgrado en el área de turismo de las instituciones educativas del municipio, integrantes de una aso-



ciación civil de caminata y estudiantes de último año en la carrera de turismo.

Análisis de los cuestionarios

El proceso de análisis se realizó por cada actividad ecoturística (campismo, caminata y día de campo). Para el análisis de las variables (sección b) se construyeron histogramas y se obtuvieron las estadísticas simples con la finalidad de explorar el comportamiento de los datos. Para cada variable se generaron intervalos con distintos niveles de recomendación (alta, media y baja) con base en las respuestas de los encuestados; dichos niveles representan una condición particular (aptitud) para el desarrollo de una actividad específica.

La generación de intervalos se basó en la función de distribución acumulativa empírica de cada variable en donde el término "empírica" hace referencia al hecho de que es generada con base en una muestra de la población (Behar y Yepes, 2007). Los intervalos se definieron en términos de su probabilidad con la finalidad de asignarles un nivel de aptitud; así se establecieron intervalos de aptitud alta, media y baja asociados a probabilidades alta, media y baja respectivamente (Tabla 1). Para establecer los límites de los intervalos se usaron directamente los valores (registrados en los cuestionarios) con los que se generó la función de distribución.

La información de la sección (c) dio origen a los juicios de valor sobre la importancia o prioridad relativa asociados a cada criterio y variable. Para definir tales valores, se calculó el vector de prioridad y la razón de consistencia de la matriz de cada cuestionario, mediante la opción *Weight* del módulo *Decision Support* de IDRISI®. Todas aquellas matrices cuya razón de consistencia fue mayor a 0,10 así como sus vectores, fueron descartados, debido a que tales valores indican una alta inconsistencia en los juicios de comparación en las matrices.

TABLA 1. Condiciones necesarias para la práctica de actividades ecoturísticas.

		Campismo		*Caminata*		*Día de campo*	
Condición	*Aptitud*	*Intervalo*	*F*	*Intervalo*	*F*	*Intervalo*	*F*
Distancia a núcleos de población (m)	S1	500-3000	0,66	1000-1800	0,63	100-1500	0,69
	S2	3000-5000	0,24	1800-5000	0,31	1500-3000	0,23
	S3	5000-10000	0,1	5000-7500	0,06	3000-5000	0,08
Distancia a caminos (m)	S1	10-500	0,61	100-500	0,59	75-500	0,56
	S2	500-1000	0,26	500-1500	0,35	500-1000	0,38
	S3	1000-4000	0,13	1500-3000	0,06	1000-2000	0,06
Pendiente (%)	S1	2.5-30	0,61	0-45	0,55	0-35	0,64
	S2	30-75	0,27	45-55	0,35	35-60	0,29
	S3	75-110	0,12	55-90	0,1	60-125	0,07
Distancia a manantiales (m)	S1	5-350	0,58	200-1000	0,53	50-500	0,72
	S2	350-1000	0,3	1000-3500	0,37	500-1500	0,17
	S3	1000-5000	0,12	3500-10000	0,1	1500-2000	0,11
Distancia a cauces (m)	S1	5-200	0,59	100-500	0,58	20-400	0,5
	S2	200-500	0,27	500-2000	0,26	400-500	0,39
	S3	500-4000	0,14	2000-4000	0,16	500-1000	0,11
Vegetación*	S1	Pino	0,39	Pino	0,41	Pino	0,41
	S2	Encino	0,35	Oyamel	0,31	Encino	0,32
	S3	Oyamel	0,26	Encino	0,28	Cedro	0,27

S: Nivel de aptitud (S1=Alta; S2=Media; S3=Baja).
F: Probabilidad asociada al intervalo (De acuerdo con la Función de Distribución Acumulativa Empírica).
* En este caso se trata de una variable de tipo cualitativo referente a un tipo de vegetación.

Posteriormente, los vectores de prioridad fueron incorporados en una gráfica conjunta de Excel® de tipo líneas, en formato de series de datos para identificar visualmente los vectores extremos a la tendencia general; nuevamente, matrices y vectores extremos se descartaron para despreciar valores que se desvían marcadamente del comportamiento común de los datos y que darían origen a promedios no representativos.

Por último, de las matrices que fueron conservadas, se obtuvo un valor promedio para cada celda por encima de la diagonal de celdas con valor 1 y se volvió a verificar el índice de consistencia, constituyendo ésta, la matriz definitiva de valores de importancia o prioridad relativa para criterios a ser utilizada en el proceso de evaluación de aptitud (Tabla 2).

Etapa 2. Conformación de la información temática

Esta etapa consistió en realizar el procesamiento de la información temática previo al proceso de evaluación de aptitud a fin de proporcionarle las características necesarias para su ingreso al sistema. Dicho proceso consistió en lo siguiente:

- Creación de áreas de amortiguamiento de acuerdo con intervalos de aptitud (descritos en la sección anterior) para las capas temáticas de áreas urbanas, vías de transporte, rasgos hidrográficos puntuales, corrientes y vías de conducción de agua. Las vías de transporte en las áreas forestales son básicamente "brechas" y "veredas". Las brechas, al ser de mayor dimensión y permitir el paso de vehículos, pueden

TABLA 2. Matrices de comparación para estandarización de variables.*

Condición	*Campismo*				*Caminata*				*Día de campo*			
Distancia a núcleos de población		S1	S2	S3		S1	S2	S3		S1	S2	S3
	S1	1	2,75	6,6	S1	1	2,03	10,5	S1	1	3	8,63
	S2		1	2,4	S2		1	5,17	S2		1	2,88
	S3			1	S3			1	S3			1
Distancia a caminos		S1	S2	S3		S1	S2	S3		S1	S2	S3
	S1	1	2,35	4,69	S1	1	1,69	9,83	S1	1	1,47	9,33
	S2		1	2	S2		1	5,83	S2		1	6,33
	S3			1	S3			1	S3			1
Pendiente		S1	S2	S3		S1	S2	S3		S1	S2	S3
	S1	1	2,26	5,08	S1	1	1,57	5,5	S1	1	2,21	9,14
	S2		1	2,25	S2		1	3,5	S2		1	4,14
	S3			1	S3			1	S3			1
Distancia a manantiales		S1	S2	S3		S1	S2	S3		S1	S2	S3
	S1	1	1,93	4,83	S1	1	1,43	5,3	S1	1	4,24	6,55
	S2		1	2,5	S2		1	3,7	S2		1	1,55
	S3			1	S3			1	S3			1
Distancia a cauces		S1	S2	S3		S1	S2	S3		S1	S2	S3
	S1	1	2,19	4,21	S1	1	2,23	3,63	S1	1	1,28	4,55
	S2		1	1,93	S2		1	1,63	S2		1	3,55
	S3			1	S3			1	S3			1
Vegetación		S1	S2	S3		S1	S2	S3		S1	S2	S3
	S1	1	1,11	1,5	S1	1	1,29	1,47	S1	1	1,31	1,55
	S2		1	1,34	S2		1	1,13	S2		1	1,18
	S3			1	S3			1	S3			1

* Las celdas vacías por debajo de la diagonal de valores 1 aparecen sin valor debido a que su valor está determinado por el valor inverso de su celda de comparación recíproca.



generar un flujo constante de tránsito, lo que podría representar un inconveniente (al generar ruido, polvo o simplemente perturbar la calma) para la realización de actividades ecoturísticas. Por tal razón, éste fue el tipo de vía utilizada para crear las áreas de amortiguamiento. Para el caso de rasgos hidrográficos puntuales, las áreas de amortiguamiento se crearon sólo con respecto a los manantiales y para el caso de corrientes y vías de conducción de agua, sólo sobre corrientes permanentes.

- Recorte y conversión de los mapas de áreas de amortiguamiento de formato vectorial a *raster* tomando como base las dimensiones del mapa de pendientes.
- Generación del mapa de pendientes a partir del MDE y reclasificación de acuerdo con intervalos de aptitud.
- Reproyección del mapa de pendientes de datum WGS84 a NAD27.
- Conversión de mapas *raster* en formato *grid* de ArcView a formato de archivo ASCII.

Etapa 3. Procesamiento

Esta etapa consistió en la puesta en operación del *software* (Pérez *et al.*, 2013) alimentándolo con la información generada tanto en la primera como en la segunda etapa y siguiendo para ello las instrucciones del manual de usuario (Pérez *et al.*, 2011). El sistema realiza tres procesos generales: (a) El primero corresponde a la conformación del Proceso Jerárquico Analítico (PJA) de Evaluación Multicriterio, mediante el cual se generan valores para estandarizar variables, ponderar criterios y verificar la consistencia de matrices de comparación (Malczewski, 1999); (b) El segundo corresponde a la modelación cartográfica, que comprende utilizar los valores generados en el proceso PJA (paso anterior) para generar los mapas temáticos estandarizados y los mapas ponderados tanto de variables como de criterios, y después combinar los mapas en cada nivel de la jerarquía para sintetizar el mapa, desde el nivel inferior (variables) hasta el superior (aptitud); y (c) El tercer proceso retoma el mapa de aptitud y nuevamente, mediante modelación cartográfica reclasifica el mapa de aptitud en clases establecidas a juicio del usuario, opcionalmente el mapa de aptitud puede ser combinado con un mapa binario de restricciones de uso de suelo para descartar las áreas impedidas para el desarrollo de la actividad ecoturística.

Etapa 4. Prueba del sistema

Una tarea relevante en el desarrollo de software es asegurar que éste satisfaga las necesidades del usuario. Un elemento de gran importancia dentro del proceso de control de desarrollo de software es su validación o prueba; para su aplicación se requiere disponer de un prototipo ejecutable el cual se pone en marcha con la finalidad de contrastar sus respuestas con el comportamiento operacional esperado, en donde los resultados son examinados para constatar su fiabilidad y así probar que el sistema es de utilidad operacional. Para realizar una prueba, es necesario definir las pre-condiciones y post-condiciones, establecer valores de entrada y conocer el comportamiento que debería tener el sistema ante dichos valores (INTECO, 2009).

En ese sentido, la prueba del sistema se realizó en dos fases: (i) Comprobación de la lógica de operación del sistema. Para esta operación se generaron seis capas de datos en formato *raster*, con dimensión de 9 filas por 9 columnas. Estas capas se utilizaron para realizar diferentes ejecuciones del sistema. En cada ejecución se asignaron valores diversos (bien conocidos) a una de las capas, manteniendo las restantes en un valor fijo (el de mayor aptitud en todas sus celdas) para poder conocer con certeza el valor que debía ser esperado y contrastarlo con el generado por el sistema, y así poder comprobar su correcto desempeño; (ii) La segunda etapa consistió en la verificación manual del valor de aptitud para una serie de puntos del área de estudio para cada actividad y su comparación con el valor generado por el sistema, a fin de verificar su confiabilidad. Los puntos fueron definidos mediante la generación de valores aleatorios para sus coordenadas X y Y aplicando la función “aleatorio.entre()” de Excel®; se consideró un total de 15 puntos por actividad.

Resultados y discusión

A través de las encuestas se definieron las condiciones necesarias (en forma de intervalos de aptitud) en cuanto a

distancia, núcleos de población, distancia a caminos, pendiente del terreno, distancia a manantiales y distancia a cauces de agua necesarias para la práctica de las actividades campismo, caminata y día de campo en la Sierra Nevada de Texcoco (Tabla 1). Cabe mencionar que las personas a las que se aplicó la encuesta representaron solo un pequeño grupo de muestra de la inmensa mayoría que componen a la sociedad; este estudio en su naturaleza exploratoria generó, de esta muestra, la información necesaria para aplicar la metodología. Pero es claro que se requieren de estudios complementarios que permitan profundizar en el universo de gustos y preferencias de los diferentes grupos sociales, en donde se conjugan aspectos como el género, edad, situación económica, nivel cultural, etc. Una situación así permitiría el planteamiento de escenarios bien definidos en cuanto a ponderaciones de criterios y variables con respecto a cada grupo, prescindiendo de esta manera del análisis de sensibilidad que suele acompañar a las herramientas de evaluación multicriterio.

Una consideración importante en cuanto a las actividades ecoturísticas es que, a pesar de que el cuestionario incluía opción para mencionar actividades diferentes a las que se proponían en el mismo, ningún cuestionario registró actividades adicionales. Esto no quiere decir que no existan otras actividades susceptibles de desarrollarse en la zona sino que para la muestra encuestada, estas fueron las actividades más comunes. En su carácter exploratorio, no estuvo en los alcances de este trabajo realizar un análisis exhaustivo de todas y cada una de las actividades que pueden desarrollarse en el área de estudio; desde luego este tema de gran relevancia tendrá que abordarse a través de estudios complementarios.

El nivel de aptitud asociado con los intervalos indica una situación de idealidad para la práctica de las actividades ecoturísticas. Para este trabajo en particular se establecieron los niveles de aptitud nula, baja, media y alta, pero puede establecerse cualquier número de niveles, lo que dependerá de los objetivos particulares de la investigación. En este sentido, el sistema de evaluación permite definir cualquier número de niveles.

Con base en los intervalos de aptitud para cada condición (variable) se establecieron las matrices de compara-

TABLA 3. Matrices de comparación para ponderación de subcriterios (variables).*

Criterio		*Campismo*		*Caminata*		*Día de campo*	
Accesibilidad	*Variable*	*Distancia a caminos*	*Distancia a núcleos de población*	*Distancia a caminos*	*Distancia a núcleos de población*	*Distancia a caminos*	*Distancia a núcleos de población*
	Distancia a caminos	1	0,21	1	3,66	1	0,25
	Distancia a núcleos de población		1		1		1
Agua	Variable	Distancia a cauces	Distancia a manantiales	Distancia a cauces	Distancia a manantiales	Distancia a cauces	Distancia a manantiales
	Distancia a cauces	1	0,429	1	3	1	0,142
	Distancia a manantiales		1		1		1

* Las celdas sombreadas por debajo de la diagonal de valores 1 aparecen sin valor debido a que su valor está determinado por el valor inverso de su celda de comparación recíproca.



ción para su estandarización (Tabla 2). Los valores de probabilidad, ya en sí, representan valores de estandarización, pero para acoplarlos al formato de entrada del sistema, que son las matrices de comparación, se obtuvo el cociente de los valores de probabilidad de los niveles que se comparan; dicho cociente representa la dimensión proporcional de uno frente al otro. Cuando se resuelve la matriz de comparación generando el vector de prioridades, éste retorna los valores de probabilidad originales; un paso posterior es la obtención del cociente de cada valor del vector con respecto al mayor de ellos para dar origen a los valores de estandarización. También se conformaron las matrices de comparación para ponderación de variables al interior de criterios –subcriterios– (Tabla 3) así como para ponderación de criterios (Tabla 4). Es necesario comentar que en la tabla 3 no figuran los criterios "Topografía" y "Vegetación" porque no se están ponderando dado que no tienen más de una variable.

El sistema fue puesto en ejecución con base en el manual de operación (Pérez *et al*., 2011), incorporando las capas temáticas necesarias, generando la jerarquía de criterios (Fig. 2a), incorporando los intervalos de aptitud con sus valores de importancia (Fig. 2b), así como los valores de importancia de variables (Fig. 2c) y de criterios (Fig. 2d); el proceso fue desarrollado para cada actividad ecoturística para obtener el mapa de aptitud correspondiente.

De acuerdo con los criterios y subcriterios, así como con el formato de la información empleada en el proceso, el sistema puede generar para estas condiciones alrededor de 4096 posibles valores de aptitud. Por tal razón, se realizó la reclasificación de los mapas de aptitud para las tres actividades de interés en las clases de Aptitud: Nula= (0≤Aptitud≤0,5), Baja= (0,5<Aptitud≤0,66), Media= (0,66<Aptitud≤0,83) y Alta=(0,83<Aptitud≤1,0).

De esta manera, el sistema generó los mapas de aptitud para las actividades de campismo, caminata y día de campo (Figs. 3, 4 y 5, respectivamente) donde se aprecian las clases de aptitud mencionadas y se presentan adicionalmente zonas de restricción -en este caso corresponden a áreas urbanas-; la inclusión de zonas de restricción es otra funcionalidad del sistema. La inclusión de áreas urbanas como zonas de restricción solo es un parámetro de referencia debido a que no se cuenta con información actualizada.

Además, se percibe que tales zonas han ido en constante aumento; por la misma razón no se incluyeron otras zonas de restricción como las de uso agrícola. Queda confirmado que el sistema permite la incorporación de cual-

TABLA 4. Matriz de comparación para ponderación de criterios.*

		Accesibilidad	*Agua*	*Topografía*	*Vegetación*
Campismo	Accesibilidad	1	0,22	2,58	1,17
	Agua		1	4,34	4,5
	Topografía			1	1,17
	Vegetación				1
Caminata	Accesibilidad	1	2	3,67	4,33
	Agua		1	2,33	5
	Topografía			1	4,33
	Vegetación				1
Día de campo	Accesibilidad	1	3	0,51	1,67
	Agua		1	0,29	0,56
	Topografía			1	3
	Vegetación				1

* Las celdas sombreadas por debajo de la diagonal de valores 1 aparecen sin valor debido a que su valor está determinado por el valor inverso de su celda de comparación recíproca.



FIGURA 2. Ventanas del sistema para la incorporación de jerarquía de criterios (a), intervalos de aptitud (b), valores de importancia de variables (c), y valores de importancia de criterios (d).

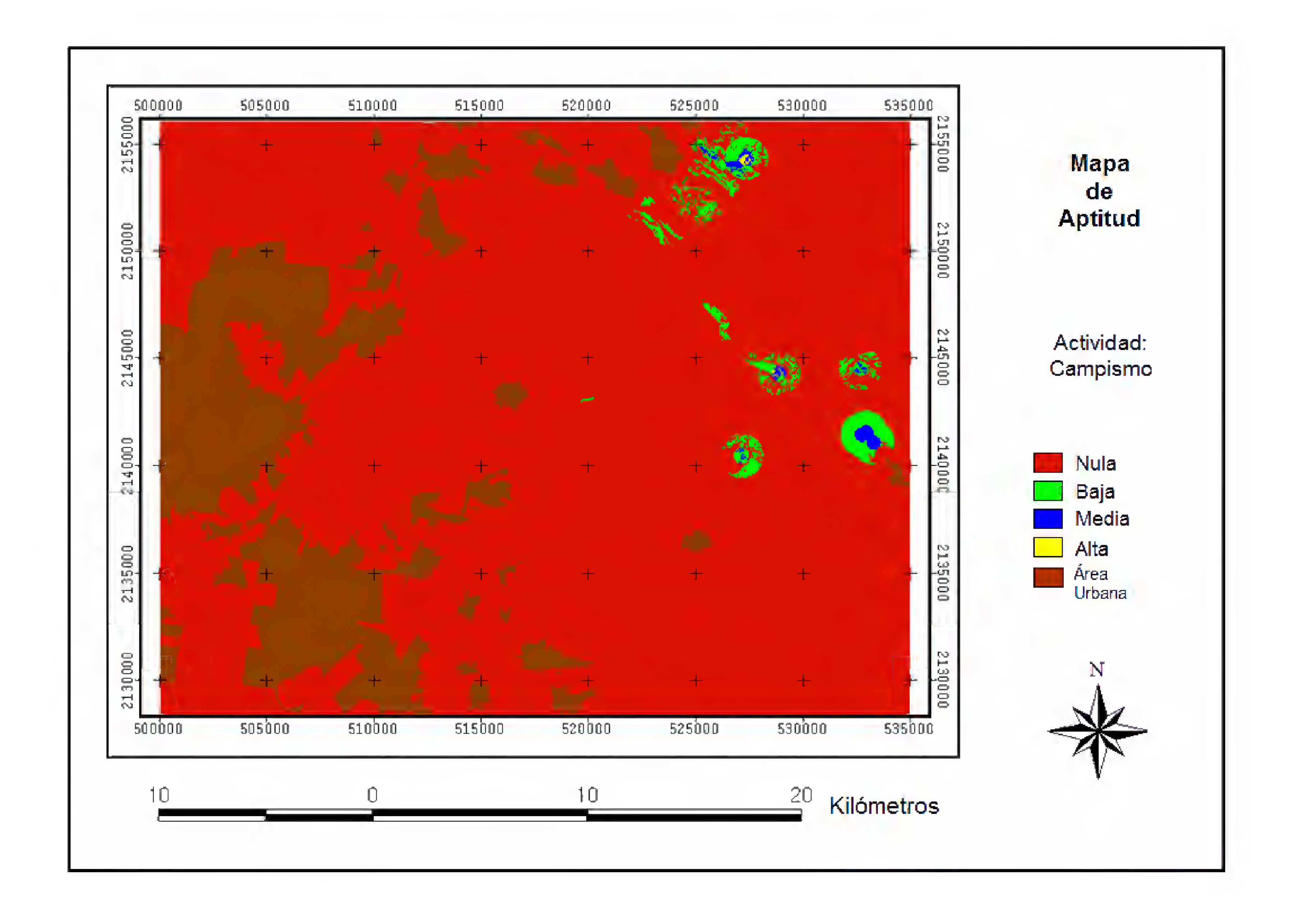


FIGURA 3. Mapa de aptitud para actividad de campismo.



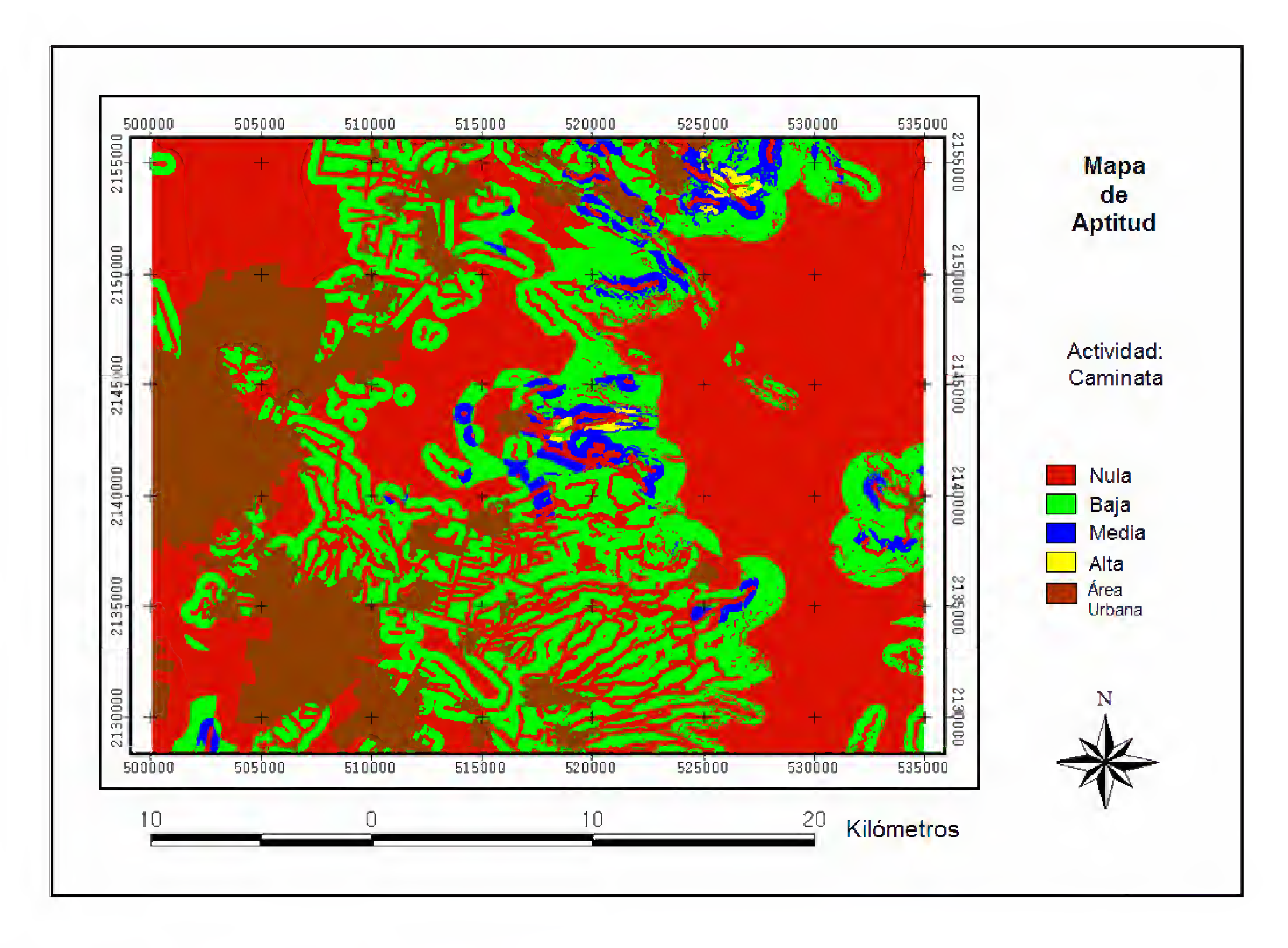


FIGURA 4. Mapa de aptitud para actividad de caminata.

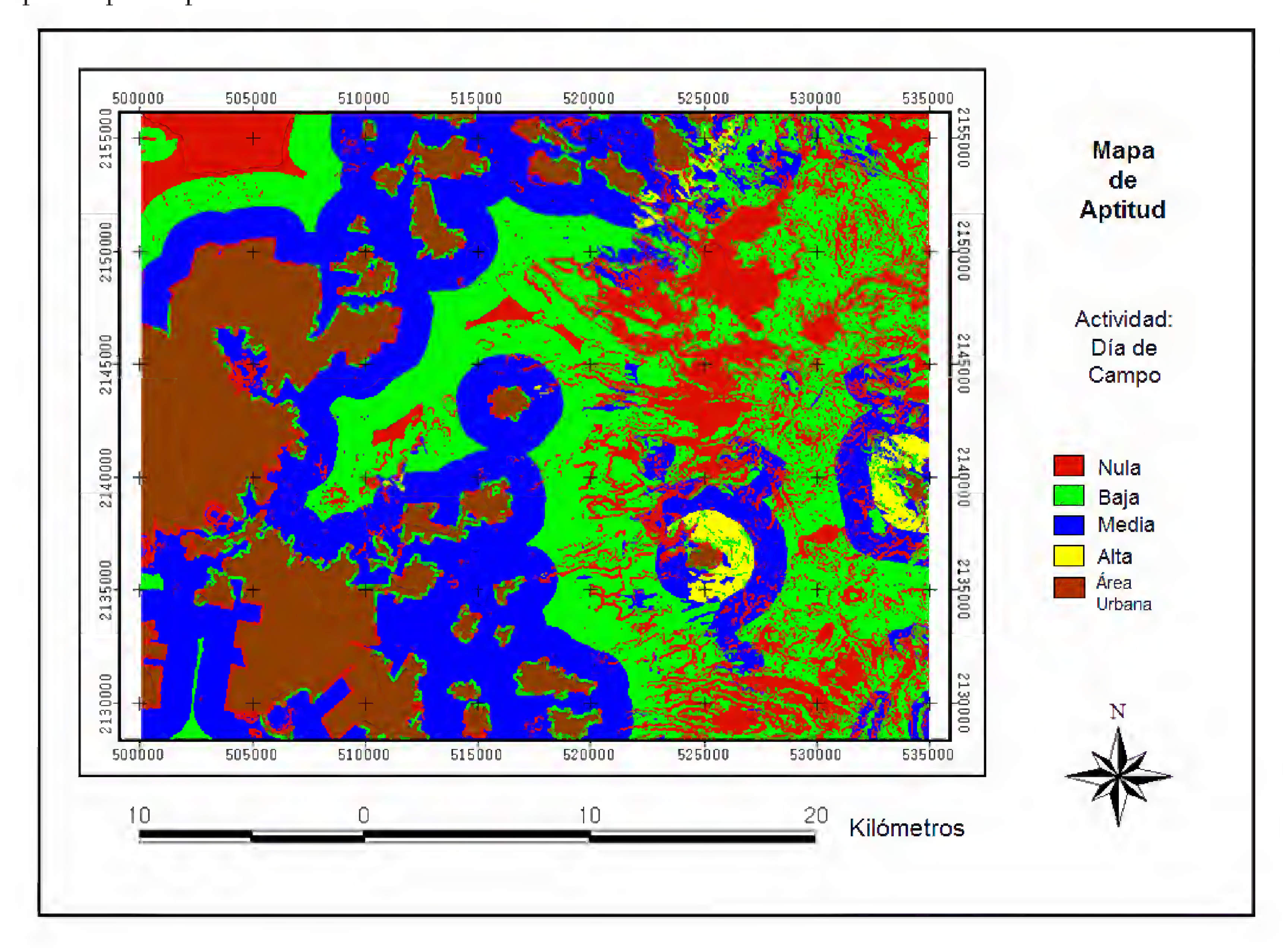


FIGURA 5. Mapa de aptitud para actividad de día de campo.

quier número de zonas de restricción. Un aspecto de gran relevancia es la disponibilidad de información temática y su calidad. Como puede apreciarse, la utilidad de una evaluación como la que se realiza en el presente trabajo estará limitada por estos dos componentes. Si bien es cierto que este trabajo presenta tal limitación, su verdadero mérito lo constituye el presentar un enfoque de evaluación de aptitud (diferente al de trabajos relacionados al tema) que en consecuencia conlleva una metodología particular y adicionalmente presenta un sistema en este tipo de evaluaciones.

Los mapas indicaron una superficie con aptitud alta de 24,3; 256,68 y 1396,17 hectáreas para las actividades de campismo, caminata y día de campo, respectivamente (Tabla 5). Como se observa, la superficie para día de campo supera con mucho a las otras actividades, así la superficie para campismo y caminata representan 1,74% y 18,38% con respecto a la superficie de día de campo respectivamente. Las cantidades de superficie así como su distribución son consecuencia directa de las condiciones definidas para las actividades; así puede intuirse que las condiciones para campismo fueron muy restrictivas quedando en segundo término las correspondientes a caminata. De esto se deriva que la actividad de campismo es una actividad de mayor especialización que requiere de condiciones muy particulares y que, en sentido contrario, la actividad de día de campo está abierta a un margen bastante amplio de condiciones, observándose así la mayor vocación de la zona para actividades de día de campo.

Respecto a la prueba del sistema, tanto la comprobación de la lógica de operación como la verificación manual de valores de puntos aleatorios resultaron satisfactorias en toda su extensión, al no encontrar ningún valor diferente a los esperados; por tanto, la confiabilidad del sistema queda constatada.

El valor de aptitud tiene un significado fácilmente comprensible, el valor 1 indica una condición de idealidad, la cual disminuye en la medida en que se aproxima a 0; sin embargo, resume una enorme cantidad de información acerca de las relaciones complejas existentes entre los elementos que se conjugan para su determinación. Por esa razón, en la medida en que tales relaciones puedan ser acertadamente definidas en la información de entrada, el valor de aptitud se acercará a la realidad.

En este sentido, el sistema posee gran potencial para la representación de relaciones complejas; sin embargo, tal potencial se verá limitado en función de la cantidad y calidad de la información cartográfica disponible. Otra ventaja del sistema es que puede operar a cualquier nivel de escala, restringida por el aspecto de la información mencionada.

La información requerida por el sistema (Tabla 6) es un aspecto crítico debido a que podría representar una seria desventaja para el mismo; en este sentido, la confiabilidad del sistema dependerá completamente del grado en que la información cartográfica coincida con la realidad; un segundo punto es que si no hay disponibilidad de la

TABLA 5. Cuantificación de superficie por nivel de aptitud para cada actividad ecoturística.

	Acampar		*Caminata*		*Día de campo*	
Aptitud	*Superficie (ha)*	*%*	*Superficie (ha)*	*%*	*Superficie (ha)*	*%*
Nula	78679,08	81,55	50522,04	52,36	20328,84	21,07
Baja	1326,15	1,37	26270,37	27,23	28786,23	29,84
Media	211,41	0,22	3191,85	3,31	29729,70	30,81
Alta	24,30	0,03	256,68	0,27	1396,17	1,45
Zona Urbana	16243,02	16,83	16243,02	16,83	16243,02	16,83
Superficie total	96483,96	100%	96483,96	100%	96483,96	100%



información correspondiente a la condiciones que se evalúan, la representación de la situación que se pretende evaluar quedará muy limitada. Ambos aspectos marcarán la utilidad del sistema.

Tabla 6. Resumen de la información requerida por el *software* para el análisis de aptitud.

Variables ambientales
Valores de ponderación e intervalos de aptitud de variables ambientales
Definición de criterios
Valores de ponderación para criterios
Definición de Estructura jerárquica de criterios y variables
Información temática correspondiente a variables ambientales
Mapas de restricción de uso del suelo

Conclusiones

La combinación de herramientas multicriterio y sistemas de información geográfica integradas en un sistema de cómputo representan una alternativa objetiva y confiable para la determinación de aptitud de áreas forestales para la realización de actividades ecoturísticas.

Mediante el sistema de cómputo se determinó que La Sierra Nevada de Texcoco cuenta con áreas naturales susceptibles de ser aprovechadas para realizar actividades ecoturísticas como campismo, caminata y día de campo; se observó una mayor aptitud para la actividad de *Día de Campo,* ya que entre las categorías “Media” y "Alta", más de 30% del área total de la zona de estudio presenta aptitud para esta actividad.

El sistema de cómputo diseñado permitió identificar zonas de aptitud ecoturística con base en criterios establecidos, y puede tener aplicación como herramienta auxiliar en otras áreas de interés, como en el ordenamiento ecológico para la búsqueda de patrones de ocupación del territorio y orientación de las políticas de uso del suelo; en el área de servicios ecosistémicos para identificar zonas para captura de carbono, captación de agua, protección de biodiversidad, etc.; en protección civil para identificar zonas de riesgos o para emplazamiento de infraestructura; entre otras, representando así una valiosa herramienta de apoyo a los procesos de toma de decisiones en la planificación ambiental.

Finalmente es importante recalcar, en los términos que lo plantea Senol *et al.* (2003), que el uso de los espacios naturales debe estar sustentado en bases objetivas como la cuantificación del potencial de sus atributos bióticos y abióticos para sustentar algún tipo de actividad, como una condición indispensable para encaminarse al uso racional y sustentable de los recursos naturales.

Referencias

Behar, R. y M. Yepes. 2007. Estadística. Un enfoque descriptivo. Universidad del Valle. ISBN 958-670-068-2. Cali, Colombia. 140 p.

Bandyopadhyay, S., R.K. Jaiswal, V.S. Hegde y V. Jayaraman. 2009. Assessment of land suitability potentials for agriculture using a remote sensing and GIS based approach. *International Journal of Remote Sensing* 30(4):879-895.

Blancas P., F.J., F.M. Guerrero C. y M. Lozano O. (2009). La localización espacial en la planificación del turismo rural en Andalucía: Un enfoque multicriterio. *Revista de Estudios Regionales* 48:83-113.

Bojórquez T., L.A., S. Díaz M. y P. Gómez P. 1999. GIS-approach for land sutability assessment in developing countries: A case study of forest development project in Mexico. *In*: H. Jean C., ed. Spatial multicriteria decision making and analisys: A geographic information sciences approach. Ashgate Publishing Company. p:335-353.

Caballero R., A.E. 2007. Los programas y proyectos turísticos del municipio de Texcoco, una alternativa viable para el desarrollo. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. 86 p.

Ceballos L., H. 1998. Ecoturismo. Naturaleza y desarrollo sostenible. Diana. México. 185 p.

Chávez De la P., J. 2005. Ecoturismo TAP. Turismo ambientalmente planificado. Trillas. México. 138 p.

De Groot, R. 2006. Function-analisys and valuation as a tool assess land uses conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and urban planning* 75(3-4): 75-186.

Franco M., S., M. Osorio G., G. Nava B. y H.H. Regil G. 2009. Evaluación multicriterio de los recursos turísticos. Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *Estudios y Perspectivas en Turismo* 18:208-226.

Gómez B., E. y R. De Groot. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: Explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas* XVI(3):4-14.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografí). 1982. Carta Topográfica E14B31 (Chalco) Escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F.

INTECO (Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación). 2009. Guía de validación y verificación. Laboratorio Nacional de Calidad del Software. Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación. Gobierno de España. 81 p.

Kimmel, J.R. 1999. Ecotourism as environmental learning. *The Journal of Environmental Education* 30(2):40-44.

Kenan, O. 2006. Multiple criteria activity selection for ecotourism planning in Igneada. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30:153-164.

López H., N. y A. Triviño P. 2004. Planificación y gestión sostenible de áreas recreativas en la comunidad Valenciana. *Cuadernos Geográficos* 34:163-178.

Malczewski, J. 1999. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons. EUA. 392 p.

Martínez R., M.L. 2005. La identidad cultural y el sistema de cargos como ejes de un proyecto intercomunitario en las comunidades de la Sierra Nevada de Texcoco, México. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Chapingo. 310 p.

Pérez de las Heras, M. 2003. La guía del ecoturismo: o cómo conservar la naturaleza a través del turismo. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, España. 290 p.

Pérez V., M.A.; M.J. González G., J.R. Valdez L., H.M. De Los Santos P., G. Ángeles P. 2011. Manual de usuario: Sistema de información para determinar la aptitud ecoturística de áreas forestales. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 28 p.

Pérez V., M.A.; M.J. González G., J.R. Valdez L. 2012. Métodos para determinar la aptitud ecoturística de áreas forestales. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(3):271-189.

Pérez V., M.A.; M.J. González G., J.R. Valdez L., H.M. De Los Santos P., G. Ángeles P. 2013. Diseño de un sistema de cómputo para determinar la aptitud ecoturística de áreas forestales. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(1):13-28.

Romero, C. 1993. Teoría de la decisión multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones. Alianza Editorial. Madrid, España. 191 p.

Sánchez G., A. y L. López M. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* 74(1):47-71.

Saaty, T.L. 1990. How to make a decision. The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 48(1):9-26.

Senol, S., S. Kilic y F. Evrendilek. 2003. Evaluation of land use potential and suitability of ecosystems in Antakya for reforestation, recreation, arable farming and residence. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 27(1):15-22.

Wunder, S. 1999. Promoting forest conservation through ecotourism income? A case study from the Ecuadorian Amazon region. CIFOR. Ocasional paper No. 21. 24 p.

Manuscrito recibido el 20 de noviembre de 2012.
Aceptado el 7 de marzo de 2014.

Este documento se debe citar como:
Pérez V., M.A., M.J. González-Guillén, J.R. Valdez-Lazalde, H.M. De los Santos-Posadas y G. Ángeles-Pérez. 2014. Aptitud ecoturística en la sierra nevada de Texcoco, Estado de México. *Madera y Bosques* 20(2):127-140.

Madera y **Bosques** vol. **20**, núm. **2 : 143-152** Verano **2014**



Árboles y arbustos registrados en el Parque Ecológico *Molino de San Roque*, Municipio de Xalapa, Veracruz

Trees and shrubs registered in the Molino de San Roque Ecological Park, Municipality of Xalapa, Veracruz

César Ruiz-Montiel[1], Vicente Vázquez-Torres[2†], María de Jesús Martínez-Hernandez[2*], Lucio Murrieta-Pérez[2] y María Salomé Perea-Hernández[2]

1 Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

2 Facultad de Ciencias Agrícolas- Xalapa., Veracruz, México.

* Autor de correspondencia: mhernandezmj@gmail.com

Resumen

En México, el estado de Veracruz es el tercero en importancia en cuanto a biodiversidad se refiere, sin embargo, hoy en día se encuentra fragmentado en islas de vegetación natural a causa de actividades antropogénicas diversas que impactan en cada municipio. Con el fin de evaluar dichos efectos sobre la vegetación presente en el parque ecológico Molino de San Roque, se colectó material biológico de especies de árboles y arbustos, los cuales fueron procesados en el herbario de la Facultad de Biología y Agronomía de la Universidad Veracruzana y en el herbario XAL del Instituto de Ecología, A.C. (Inecol) El parque se encuentra dentro del bosque mesófilo de montaña, donde se registraron un total de 58 especies de árboles y 48 de arbustos, distribuidos en 54 familias y 90 géneros, para hacer un total de 106 especies en la zona de estudio.

Palabras clave: biodiversidad, bosque mesófilo de montaña, listado florístico.

Abstract

In Mexico, the state of Veracruz is the third most important in terms of biodiversity; however, the natural vegetation is currently in a state of fragmentation due to various anthropogenic activities that have had an impact on every municipality. In order to assess such impacts on the vegetation present in Molino de San Roque ecological park, biological material from the trees and shrubs was collected and processed in the herbaria of the faculties of Biology and Agronomy of the Universidad Veracruzana and Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, Mexico. The study area within the park, located in the cloud forest, was found to contain a total of 58 species of trees and 48 of shrubs, distributed within 54 families, and 90 genera, giving an overall total of 106 species.

Key words: biodiversity, cloud forest, floristic List.

Introducción

En el contexto nacional mexicano, el estado de Veracruz es el tercer estado, después de Chiapas y Oaxaca, con mayor biodiversidad de fauna y flora silvestre. Desafortunadamente, el estado presenta una considerable tasa de deforestación, puesto que tan solo entre 1984 y 2000 se registró una pérdida de superficie forestal de 45 mil hectáreas por año (Niembro *et al.*, 2004). En particular, Williams-Linera *et al.* (2002), determinaron que en el bosque mesófilo de montaña que rodea la ciudad en su parte oeste había, para las fechas del estudio, 19 fragmentos de bosque en estado relativamente no perturbado, contra 104 fragmentos altamente perturbados. Lo anterior indica que la vegetación

original que circunda la ciudad de Xalapa-Enríquez ha sido modificada en gran medida. Esto confirma que una amplia porción del paisaje veracruzano se encuentra fragmentado y en numerosas islas de vegetación de tamaño diverso rodeadas de campos de cultivo y pastizales destinados a la ganadería, las cuales conjuntamente con las zonas urbanas y rurales ocupan más de 72% de la superficie del estado (Gobierno del Estado de Veracruz, 1996). Algunos trabajos realizados en áreas municipales señalan que para los años 1981 y 1990, las áreas verdes representaban 1,58% de la superficie urbana total, mientras que las zonas habitacionales e industriales aumentaron 58,3% en 1981 y en 17% en 1990 (Contardí, 1980). , Este fenómeno no es favorable desde ningún punto de vista ya que, de acuerdo con las normas internacionales, se recomienda una cobertura mínima de vegetación de 8 m^2 a 60 m^2 por persona (Contardí, 1980). Por lo que respecta al área urbana de la ciudad de Xalapa-Enríquez, Leomoine-Rodríguez (2012) estimó que los cambios que ha experimentado en las últimas siete décadas han tenido impacto sobre la vegetación leñosa de sus áreas verdes, disminuyendo su cobertura de 29% (1950) a 19% (2010,) respecto a la proporción total del área de la ciudad. Lo anterior debido a la mayor designación de uso de suelo para fines urbanos que, si bien, todavía está por arriba del mínimo sugerido por las normas internacionales, la tasa de pérdida de áreas verdes sí es preocupante. Asimismo, la sociedad actual requiere y exige de mayor superficie de áreas verdes que le permita desempeñar y desarrollar las actividades cotidianas como sociales, educativas, culturales y cívicas, entre otros servicios ambientales que prestan diversos parques ecológicos y, en general, las áreas verdes urbanas, tomando en cuenta que estas zonas actualmente están siendo consideradas como prioritarias ante el cambio climático.

Es así que el crecimiento acelerado al que se está sometiendo, en forma desordenada, a las zonas urbanas y sub-urbanas dentro de la superficie municipal, conlleva a la necesidad de conservar y rehabilitar áreas de vegetación, además de planear en forma adecuada la infraestructura para cubrir las necesidades básicas de la población (Benítez, 2011; García, 1993). Tratando de esta forma de frenar la reducción de la superficie arbolada con que cuenta el municipio, la cual se encuentra representada por pequeños manchones de bosque. De acuerdo con la Sedema, en Xalapa existen cinco zonas de protección ecológica de aproximadamente 989 0706 hectáreas. Sin embargo, como lo mencionan Capitanachi, *et al.* (2004), muchos de las zonas de bosque dentro de la ciudad han disminuido considerablemente por la mancha urbana.

Particularmente, en el estado de Veracruz ha habido iniciativas para conservar y reforestar algunas áreas de la entidad. En 1980 la Dirección General de Asuntos Ecológicos, elaboró un proyecto de reforestación de arterias urbanas con información técnica y metodológica de carácter general con el cual además se pudieran planear las áreas verdes en las principales ciudades del estado de Veracruz. Con el fin de realizar el inventario de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) del Estado de Veracruz, González y Márquez (1995) realizaron un estudio y concluyeron que existen 31 áreas protegidas en Veracruz, Gerez y Pineda (2011) menciona 48 ANP.

Xalapa, por su situación geográfica, se encuentra en una zona de transición entre el bosque mesófilo de montaña y selva baja, lo que le confiere una gran riqueza y diversidad biológica. En esta ciudad se han realizado estudios florísticos interesantes, tanto para la zona urbana como para su parte periurbana. Entre los trabajos de vegetación realizados en la periferia de la ciudad, se reconocen y describen cuatro tipos de vegetación primaria, de los cuales aún se encuentran relictos de interés. Por ejemplo Castillo (1991), quien describe en su trabajo que la vegetación natural del área de Xalapa y del bosque mesófilo de montaña constituye una parte del porcentaje de vegetación nativa y que está rodeada por construcciones y asentamientos humanos, aunque en el inventario se obtuvieron más de 700 especies de plantas superiores para el municipio. No obstante, son escasos los estudios en áreas naturales protegidas pequeñas, ambientes que también pueden albergar flora representativa de los hábitats prístinos. Para la zona intra-urbana, Arias (1983), realizó un inventario florístico centrado en las especies arbóreas más fre-



cuentes, inventariando un total de 103 especies para el área urbana, localizadas en calles, parques y jardines.

En la ciudad de Xalapa-Enríquez se han realizado estudios para el ordenamiento del crecimiento urbano (Capitanachi, *et al.* 2003), lo cual ha permitido disminuir el impacto sobre las áreas verdes. Tovar (1987), elaboró una lista florística donde se registraron 73 especies frecuentemente cultivadas en los jardines públicos de Xalapa. En otros trabajos se han llevado a cabo diversos estudios botánicos. Entre ellos destacan el estudio sobre vegetación vascular en calles y banquetas de la ciudad (Domínguez, 1995) y el catálogo de flora urbana de la ciudad (Capitanachi y Amante, 1995). Tovar (1987), realizó un ensayo sobre las áreas verdes de esta ciudad donde menciona, las áreas municipales contempladas mediante decretos como zonas de protección ecológica. Dentro de éstas se incluyó mediante decreto publicado en la Gaceta Oficial de fecha 23 de septiembre de 1986, el Parque Ecológico "Molino de San Roque" como área destinada al mejoramiento y conservación del ambiente para el establecimiento de zonas de protección, con el objetivo de proteger el bosque mesófilo de montaña de la zona, así como una zona inundable conocida como "Ciénega del Seminario", con el fin de proporcionar refugio a la fauna local y migratoria.

Objetivo

El objetivo del presente estudio fue obtener un inventario florístico de los árboles y arbustos presentes en el Parque Ecológico "Molino de San Roque", comparando con los registros realizados en la región y otros sitios del país.

Materiales y métodos

El parque Ecológico Molino de San Roque se encuentra en la congregación de Andrés Montes, del municipio de Xalapa, Veracruz a 19° 32´ de latitud N y 96° 55´ de longitud W. Presenta una altitud de 1460 msnm (DGG, 1998). El parque cuenta con una superficie de 15,4285 hectáreas (Gaceta Oficial del Estado del Estado, decreto 356 de 1986). En la figura 1, se puede observar la distribución de las colonias al rededor del parque.

Para llevar a cabo el muestreo florístico, se realizaron tres salidas de campo, en dos periodos uno de febrero a mayo de 1998 y el otro de enero a mayo de 2007, con duración de dos días cada una. Tiempo en el cual se recolectaron especímenes con flores maduras, ramillas con hojas y, cuando fue posible, con fruto. Así, durante 2007 sólo se hizo un inventario registrando y comparando los árboles y arbustos que se colectaron durante el año de 1998. El material colectado fue herborizado de acuerdo con los procedimientos botánicos convencionales (Lot y Chiang, 1986) y posteriormente identificados a nivel de especie con la ayuda de especialistas. Cada ejemplar de planta se cotejó en las colecciones del Herbario de la Facultad de Ciencias Agrícolas y del Herbario XAL del Inecol. La identificación de las plantas a nivel de género y especie se realizó con auxilio de obras florísticas especializadas, como la Flora Fanerogámica del Valle de México, Flora de Guatemala, Árboles y Arbusto de México, Flora de Honduras, Flora de Veracruz.

Resultados

Se obtuvieron un total de 58 especies de árboles y 48 de arbustos, distribuidas en 54 familias y 90 géneros con un total de 106 especies en la zona de estudio. Las familias con tres o más géneros fueron ocho, haciendo un total de 35 especies, las cuales constituyen 33% del total de árboles y arbustos. Cabe mencionar que 46 familias con menos de tres géneros representan 55 especies, representando 67%. En cuanto a las familias con tres o más especies sólo se registraron 12 con un total de 54 especies, las cuales constituyen 51% del total obtenido. De manera que las 42 familias restantes con menos de tres especies suman 52 especies que representan 49% del total. La lista de especies con su respectivo nombre científico y familia presentes en el Parque Ecológico Molino de San Roque se muestran en el anexo 1.

En la zona de estudio, el género *Quercus* está representado por cinco especies y reúne 5% del total. Mientras que *Miconia, Acacia y Cestrum* tuvieron tres especies cada género y juntos conforman 8%. Para los géneros *Columbrina*, *Piper*, *Saurauia*, *Oreapanax*,

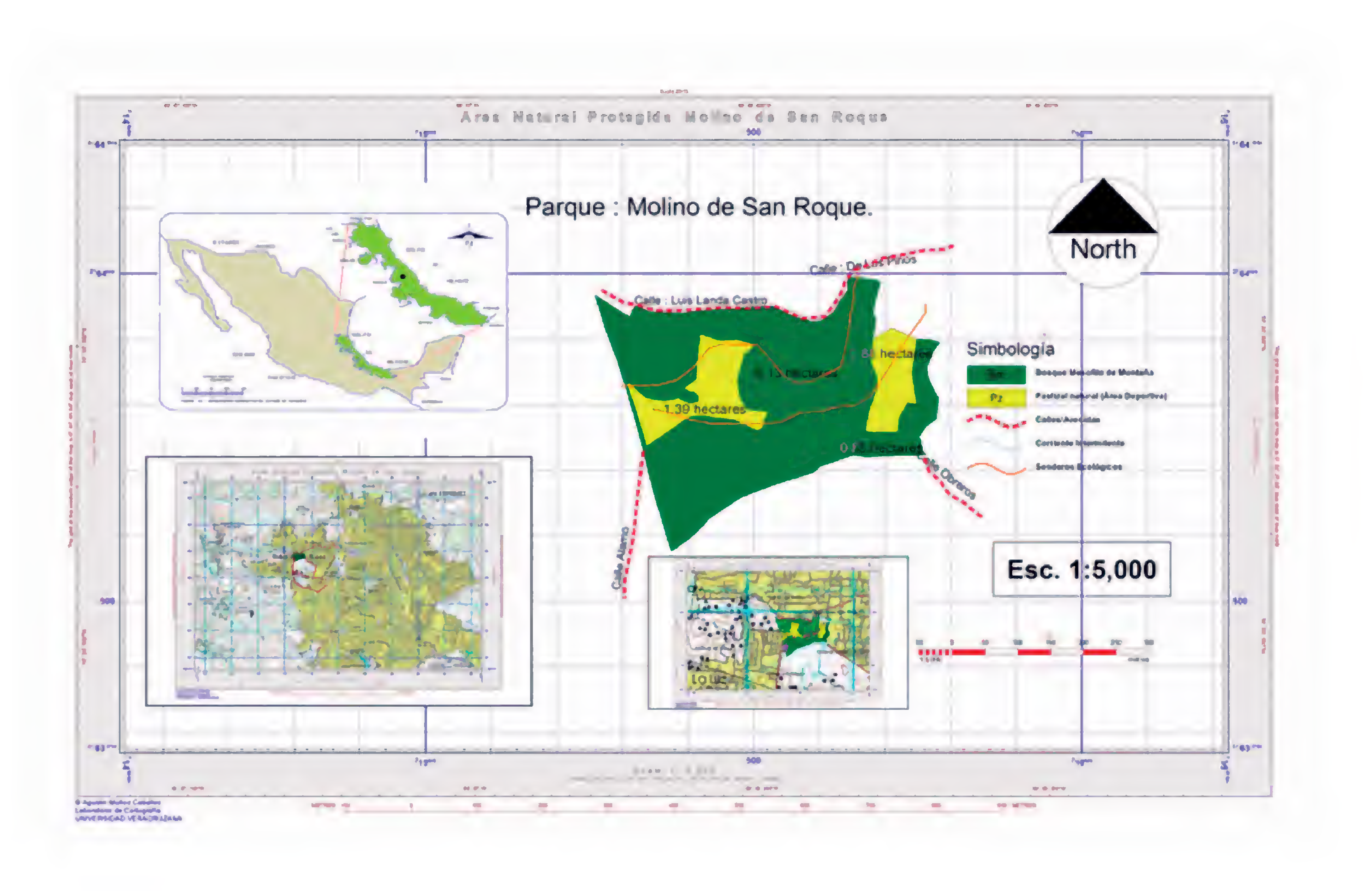


FIGURA 1. Área urbana de Xalapa 1956 y ubicación del Parque Molino de San Roque. Foto Secretaria de la Defensa Nacional.

Cupressus y *Persea* se encontraron dos especies en cada caso, que representa 11% y los 80 géneros restantes suman 75%.

Por otro lado, después de hacer la revisión bibliográfica, en el parque se encuentran tres secciones arbóreas, en dos de ellas se llevó a cabo un programa de restauración por parte del municipio con las siguientes especies, *Ostrya virginiana*, *Ulmus* sp., *Quercus* sp., *Clethra mexicana*, *Liquidambar macrophylla*, *Pinus patula*, *Eucalyptus globulus* y *Grevillea robusta*, siendo estas dos últimas muy escasas. La otra sección se encuentra con vegetación en proceso de regeneración natural. Cabe mencionar que son pocos los árboles del estrato arbóreo, pero algunos son corpulentos y con troncos de diámetros diversos que oscilan entre 8 cm y 21 cm, además de que es alta la cantidad de tocones como resultado de la deforestación de la zona. Finalmente, se registran dentro del parque dos especies arbóreas protegidas y tres categorizadas como amenazadas.

Discusión

El conocimiento de los árboles y arbustos del Parque Ecológico Molino de San Roque era inexistente. Por lo que, este trabajo representa un primer esfuerzo para obtener una lista florística de área. Adicionalmente el registro y afinidad de las especies indica que el parque está situado dentro del bosque mesófilo de montaña, aunque en la actualidad es un remanente situado prácticamente en medio de un sistema urbano. Asimismo, la vegetación primaria está reducida a pequeños manchones en los lomeríos de mayor altura, como lo menciona Castillo (1991) quien además agrega que en estas pequeñas comunidades,



que varían de 1 ha a 40 ha de superficie, se encuentra una buena parte de los remanentes de la vegetación.

Dentro del parque es notoria la modificación severa que ha sufrido la vegetación, siendo la ganadería y la extracción de leña los factores que más afectan. Lo anterior coincide con lo encontrado por Ponce *et al.* (2006) en el bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla, Hidalgo. Autores que además señalan que dicho deterioro se refleja en la escasez de individuos arbóreos altos corpulentos con diámetros de 65 cm a 70 cm. Por su parte Luna y Gómez (1998), mencionan en su trabajo que la vegetación del Parque Francisco Javier Clavijero consiste en un mosaico conformado por diferentes proporciones de remanentes perturbados del bosque mesófilo de montaña. Además, mencionan en su inventario un total de 476 especies, de las cuales 80 son epífitas y 105 representan a las especies arbóreas y arbustivas del total de lo publicado para el municipio, lo cual es semejante a lo encontrado en este estudio para el Parque Molino de San Roque con 106 especies.

A pesar de no realizar un estudio de vegetación y estructura poblacional, nosotros sugerimos que este remanente de bosque está en proceso de regeneración, ya que la mayoría de los árboles y arbustos se encuentra son menores a los 21 cm en promedio de DAP. Aunado a que hay especies indicadoras de perturbación como: *Bocconia frutescens*, *Cnidoscolus multilobos*, *Croton draco, Heliocarpus americanus* y *Trema micrantha* (Zolá, 1987). Es posible que el mal manejo que ha tenido el parque haya propiciado la carencia de algunas familias representativas del bosque de montaña maduro como es el caso de Magnoliaceae (Rzedowski, 1978).

De las familias que Rzedowski (1996) considera que prosperan preferente en el bosque mesófilo de montaña mexicano, en el parque se presentan las siguientes, Clethraceae, Cornaceae, Lauraceae, Myrsinaceae, Piperaceae y Theaceae. Algunos géneros de árboles cuantitativamente importantes en los bosques mesófilos de montaña (Rzedowski, 1996, Castillo, 1991, Zolá, 1987, Gómez-Pompa, 1966) y presentes en el parque son: *Carpinus, Clethra, Cornus, Liquidambar, Oreopanax, Persea, Prunus, Quercus, Styrax, Turpinia, Heliocarpus* y *Ternstroemia*, mismos que poseen especies características de este tipo de vegetación.

Otros géneros de plantas vasculares presentes en el parque ecológico, que poseen especies características de este tipo de vegetación, son *Miconia, Rondeletia, Saurauia* y *Nephelea*. De las especies que fueron encontradas por Castillo (1991), están *Carpinus caroliniana*, *Clethra mexicana*, *Liquidambar macrophylla*, *Meliosba alba*, *Ostrya virginiana*, *Styrax glabrescens*, *Ulmus mexicana*, *Rapanea myticoides*, *Rhamnus capreafolia* y *Turpinia insignis*.

En tanto que en el estrato arbustivo se registró a *Malvaviscos arboreus*, *Miconia mexicana*, *Piper aurintum* y *Myrica cerifera*. De acuerdo con la Coordinación General del Medioambiente, la vegetación del Molino de San Roque está constituida por encino (*Quercus xalapensis*), liquidámbar (*L. macrophylla*), pipinque (*C. caroliniana*), marangola (*C. mexicana*), gordolobo (*B. frutescens*), acuyo (*Piper auritum*), higuerilla (*Ricinos comunis*), mozote (*Melampodium divaricatum*), rama tinaja (*Trichilia havanensis*), pasto estrella (*Cynodon plectostachyum*), tifal (*Typhiado minguensis*), juncos (*Juncos* sp.) y papiros (*Cyperus* sp.). Sin embargo, no se mencionan la totalidad de árboles y arbustos. Por otro lado, Lemoine-Rodríguez (2012) menciona que las cinco especies más abundantes en este parque son: liquidámbar (*Liquidambar macrophylla*), que es nativa de la región, haya (*Platanus mexicana*), también nativa, níspero (*Eriobotrya japónica*), exótica, encino o roble (*Quercus xalapensis),* nativa y jonote (*Heliocarpus appendiculatus*), nativa.

Los encinos y el pipinque (*C. caroliniana*) son los grupos más diversos y dominantes desde el punto de vista fisonómico y, a su vez, aportan la mayor parte de la cobertura vegetal de este parque. En este sentido, Rzedowski (1978) menciona que las comunidades de *Quercus* y *Liquidambar* son muy frecuentes desde Tamaulipas hasta Chiapas en altitudes entre 600 m y 2000 m. Además de las familias vegetales que Rzedowski registró (1996), indica que prosperan preferente en el bosque mesófilo de montaña. De estas, en el Parque Molino de San Roque se obtu-

vieron las siguientes: Clethraceae, Lauraceae, Myrsinaceae, Piperaceae, Fagaceae y Meliosma.

En la Norma Oficial Mexicana (Diario oficial de la Federación, 2001) se cita a *O. virginiana*, *P. matudai*, dentro de la categoría de especies con protección especial y las especies *C. caroliniana, Symplocus* sp. y *A. vejari* como amenazadas. Algunas de ellas son endémicas, como son los casos de *C. mexicana*, *R. capraeifolia*, *A. viejari*, por lo que se debe tener especial atención desde varios sentidos biológicos y de conservación por estar en la categoría de protegidas. Finalmente, de las especies colectadas durante 1998, se detectó que tres de éstas ya no se registraron durante el 2007 dentro del parque. Tal es el caso de *Salix babilonica, Podocarpus matudai* y *Bursera simaruba*, es muy posible que esto sea consecuencia de la alta urbanización en las zonas aledañas al parque y de la extracción de madera.

Conclusiones

El Parque Ecológico Molino de San Roque está muy fragmentado y con alto nivel de perturbación antropógena. Esto debido a la extracción indiscriminada de árboles y arbustos para leña. Además, la zona se utilizaba para cultivo de café y ha sido deforestada para incrementar la extensión de potreros, de agricultura y sobre todo para uso urbano. Este último uso fue lo que incrementó la extracción de madera en el parque y, en consecuencia, la pérdida de varias especies vegetales y reducción poblacional. Los pobladores de los alrededores del parque (de las colonias Veracruz, Jaramillo, FOVISSSTE, entre otras) están conscientes del daño causado a la vegetación, debido a la notoria ausencia de fauna y flora que utilizaban para cubrir algunas necesidades. Finalmente, cabe resaltar que a través de este estudio se reveló la existencia de especies protegidas, amenazadas y endémicas de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana, y cuya información sirve para futuras investigaciones.

Agradecimientos

Al Técnico del herbario del Instituto de Ecología, A.C., Carlos M. Durán Espinosa y al de la Universidad Veracruzana, Biól. Vicente Vázquez Torres por colaborar con la identificación de las especies. A las autoridades del parque por permitir la colecta del material biológico, al Ing. Agustín Muñoz Ceballos, por su participación en la digitalización de la imagen.

Referencias

Arias, H.P.F. 1983. Los árboles del área urbana y suburbana de Xalapa. Tesis de Licenciatura. Facultad de biología. Universidad Veracruzana.

Benítez-Badillo, G. 2011. Crecimiento de la población y expansión urbana de la ciudad de Xalapa, Veracruz y sus efectos sobre la vegetación y agroecosistemas. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados-Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Veracruz, México. 129.

Capitanachi, M.C. y H. S. Amante. 1995. Las áreas verdes urbanas en Xalapa, Veracruz. Catálogo de flora urbana. Universidad Veracruzana-Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 524.

Capitanachi, M.C., E. Utrera y C.B. Smith. 2003. Informe técnico final del proyecto "Sistema de áreas verdes urbanas: Estrategia para el ordenamiento del crecimiento urbano en ciudades medias. Caso de estudio: Xalapa, Veracruz". Universidad Veracruzana - Instituto de Ecología, A.C. Sistema de Investigación del Golfo de México (Conacyt). Xalapa, Veracruz, México.

Capitanachi, M.C., E. Utrera y C.B. Smith. 2004. El bosque urbano de Xalapa, Veracruz. Instituto de Ecología, A.C. - Universidad Veracruzana, Sistema de Investigación del Golfo de México (Conacyt). Xalapa, Veracruz, México.

Castillo C., G. 1991. Vegetación y flora del municipio de Xalapa, Veracruz. Instituto de Ecología, A.C. 148 p.

Contardí, H.G. 1980. Nueva concepción ecológica tecnológica sobre los espacios verdes urbanos. *Ecología Austral* 5:105-112.

Diario Oficial de la Federación. 2001. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categoría de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo, Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, 6 de marzo de 2002.



DGG (Dirección General de Geografía). 1998. Carta de uso cartográfico. Esc: 1:1 000 000. Gaceta Oficial del Estado. 1986. Decreto No. 356. 2 p.

Domínguez, B.B. 1995. La vegetación vascular en calles y banquetas de la ciudad de Xalapa, Veracruz. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 38 p.

García, C. 1993. Las áreas verdes públicas de Xalapa. *In*: M.I. López, ed. Ecología urbana aplicada a la ciudad de Xalapa. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México. p:36-52.

Gerez, F.P. y M. R. Pineda L. 2011. Los bosques de Veracruz en el contexto de una estrategia estatal REDD+. *Madera y Bosques* 17(3):7-27.

Gobierno del Estado de Veracruz. 1996. Plan sectorial forestal del estado de Veracruz (1996-2034). Gobierno del Estado de Veracruz. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Xalapa, Veracruz. México. 159 p.

Gómez-Pompa, A. 1966. Estudios Botánicos en la región de Misantla, Veracruz. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México. 73 p.

González, A. y J. Márquez. 1995. Áreas naturales protegidas en Veracruz. Dirección General de Asuntos Ecológicos. Xalapa, Ver. 25 p.

Lemoine-Rodríguez, R. 2012. Cambios en la cobertura vegetal de la ciudad de Xalapa- Enríquez, Veracruz y zonas circundantes entre 1950 y 2010. Tesis profesional. Universidad Veracruzana. Facultad de Biología. Xalapa, Ver. 44p.

Lot, A. y F. Chiang. 1986. Manual de Herbario. Consejo Nacional de la Flora México. México, D.F.

Luna, M.N. y O. Gómez G. 1998. Diagnóstico y plan de manejo del parque Francisco Javier Clavijero en Xalapa, Veracruz. Un modelo para las Áreas Naturales periurbanas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 100 p.

Niembro R., A., I. Morato y J.A. Cuevas. S. 2004. Catálogo de frutos y semillas de árboles y arbustos de valor actual y potencial para el desarrollo forestal de Veracruz y Puebla. Reporte Final de proyecto. Conacyt.Conafor-202-COI-5741. Instituto de Ecología, A.C. Formato CD.

Ponce-Vargas, A., I. Luna-Vega, O. Alcántara-Ayala y C.A. Ruiz-Jiménez. 2006. Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77:177-190.

Rzedowski, J. 1978. La Vegetación de México. Limusa S.A. México, D.F. 432 p.

Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana* 35:25-44.

Tovar, R.C. 1987. Tabla de las especies más comunes de las áreas verdes de Xalapa, Ver. H. Ayuntamiento de Xalapa (Inédito) 4 p.

Zolá B., M.G. 1987. La vegetación de Xalapa. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recurso Bióticos. Xalapa, Ver. 155 p.

Williams-Linera, G., R.H. Manson y E. Isunza V. 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 8(1):73-89.

Manuscrito recibido el 8 de agosto de 2013.
Aceptado el 17 de febrero de 2014.

Este documento se debe citar como:
Ruiz-Montiel, C., V. Vázquez-Torres, M.J. Martínez-Hernández, L. Murrieta-Pérez y M.S. Perea-Hernández. 2014. Árboles y arbustos registrados en el Parque Ecológico Molino de San Roque, Municipio de Xalapa, Veracruz. *Madera y Bosques* 20(2):143-152.

ANEXO 1. Lista de especies presentes en el Parque Ecológico "Molino de San Roque".

Nombre Científico	*Familia*
Abies vejari Martínez,	Abitaceae
Acacia angustissima (Mill.) Kuntze	Leguminosae
Acacia farmesiana (L.) Willd,	Leguminosae
Acacia pennatula	Leguminosae
Ageratina ligustrina	Compositae
Annona cherimola Miller	Anonaceae
Baccharis glutinosa (R. & P) Pers.,	Compositae
Berberis hartwegii Benth	Berbenaceae
Bocconia frutescens L.,	Papaveraceae
Bougainvillea Comm. Ex Juss	Nictaginaceae
Bursera simaruba (L.) Sarg.	Burseraceae
Brugman siacandida Bers	Solanaceae
*Calliandra portoricensis (*Jacq) Benth,	Fabaceae
Carpinus caroliniana Walt,	Betulaceae
Castela texana (T. & G) Rose	Simaruba
Casuarina cunninghamiana Miq	casuarinaceae
Cedrela odorata L	Meliaceae
Cestrum elegans	Solanaceae
Cestrum lanatum	Solanaceae
Cestrum oblongifolium Schlech	Solanaceae
Citrus aurentium L	Rutaceae
Clethra mexicana D. C	Cletrhaceae
Cnidoscolus multilobus,	Euphorbiaceae
Coffea arabica L	Rubiaceae
Colubrina elíptica (Sw) Bris. Et Stein	Rhamnaceae
Colubrina texensis (T. & G.),	Rhamnaceae
Cordiaboissieri A. Dc	Boraginaceae
Cornutia grandifolia	Verbenaceae
*Crotondraco*Cham.&Schltdl	Euphorbiaceae
Cupressus lindiey Krotsch	Cupressaceae
Cupressus bentahamii S. Endlicher var. Benthamii.Tipo	Cupressaceae
Diphyia floribunda	Leguminosaceae
Eriobotrya japónica Lindl	Rosaseae
Erythrina americana Millar	Leguminosaceae
Eucaliptos globulus Labill	Mirtaceae



Euphorbia cotinifolia Var. *A troporpurea*	Euphorbiaceae
Fraxinus uhdei	Oleaceae
Gardenia jasminoides Ellis	Rubiaceae
Gliricidia sepium (Jacq) Steud	Leguminosaceae
Grevillea robusta A. Cunn,	Proteaceae
Heliocarpus americanus donell- smithii Rose	Tilaceae
Hibiscus rosa- sinensis	Malvaceae
Inga Jinicuil Schlech	Mimosaseae
Ipomoea arborescens (Humb & Bonl Don.23)	Convolvulaceae
Krameria ramosissima (Gray) Wats	Krameriaceae
Lantana camara L	Verbenaceae
Leucaena pulverulenta (Schlecht.) Benth	Leguminosaceae
Lippiamy riocephala Schelechter	Verbenaceae
*Lyquidambar macrophylla*oersted	Hamamelilaceae
Malvaviscos arboreus L	Malvaceae
Meliosma alba (Schlecht) Walp	Sabiacae
Miconia argenta (Sw) DC	Melastomataceae
Miconi amexicana Schelechter	Melastomataceae
Miconia sylvatica Schelechter	Melastomataceae
Mimosa monancistra Benth	Papilonaceae
Myrica cerifera	Miricaceae
Nectandra ambigens (Blake) c. k.Allen	Cythaginaceae
Nephelea mexicana Schlechtendal&Cham) Tryon	Cythaginaceae
Oreapanax capitatus Jacq derne& Planchon	Araliaceae
Oreapanax xalapensis (Kunth) Done& Pl	Araliaceae
Ostrya virginiana Mill	Betulaceae
Pavonia paniculada Car	Malvaceae
*Persea americana*Mill	Lauraceae
Persea sp	Lauraceae
Pinus patula	Pinacea
Piper auritum Kunth	Piperaceae
Piperla pathifolial	Piperaceae
Platanus mexicana Mori	Platanaceae
Podocarpus smatudai Lundell,	Podocarpaceae
Policoure apadifolia	Rubiaceae
Prunus serótina Ehremb	Rosaceae
Psidium guajaba L	Mirtaceae
Psychotria acuminata Benth	Rubiaceae

Pyrus comunis L	Rosaceae
Quercus acutifólia Née	Fagaceae
Quercus candicans Née	Fagaceae
Quercuscastanea Née	Fagaceae
Quercus germana Chan. Et Schlecht	Fagaceae
Quercus xalapensis Humbet Bonpl	Fagaceae
Rhamnus capraefolia	Ramnaceae
*Rhapanea myricoides*Schl.62	Myrsenaceae
Rhus virens Lindl. Ex Gray	Anacardaceae
Ricinus communis L	Euphorbiaceae
Roldana angulifolia	Asteraceae
Rondelettia capitellata	Rubiaceae
Salix babilonica	Salicaceae
Sambucus mexicana Presl	Capraifoliaceae
Sapindus saponaria L	Sapindaceae
Saurauia leucocarpa Schlechtendal	Actinidaceae
Saurauia pendunclata HOOK	Actinidaceae
Schistocarpha bicolor	Compositae
Senecio lanicaulis Greenm	Asteraceae
Solanum aphyodendron	Solanaceae
Styrax ramirezii Greenm	Styracaceae
*Symplo cos*sp.Jacq	Symplocaceae
Telanthophora grandifolia (Less)	Asteraceae
Ternstroemia sylvatica SchletnCham	Theaceae
Trema micrantha (L) Blume	Ulmaceae
Trichilia havanensis Jacq	Meliaceae
Turpinia insignis (Stewarz) G. Don	Staphyleaceae
Ulmus mexicana (Liebm.) planch	Ulmaceae
Urera caracasana /Jacq) Grises	Urticaceae
Verbena delticola Small	Verbenaceae
Yucc aelephantipes Regel	Liliaceae
Zanthoxylum riedelianum(L.) Sarg,	Rutaceae

Madera y **Bosques** vol. **20**, núm. **2 : 153-158** Verano **2014**



Componentes químicos de la madera y la corteza de *Haematoxylum brasiletto* Karsten (Leguminosae)

Chemical components of the wood and bark of *Haematoxylum brasiletto* Karsten (*Leguminosae*)

Luz Elena A. Ávila-Calderón[1] y José Guadalupe Rutiaga-Quiñones[1]

1 Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán. México

Resumen

Se realizó un análisis químico para determinar los principales componentes presentes en la madera (albura y duramen) y corteza de *Haematoxylon brasiletto* Karsten (palo de Brasil). En este estudio se determinó el contenido de cenizas y se hizo el análisis de las cenizas, las sustancias extraíbles, la holocelulosa y la lignina. Se encontró que los componentes químicos variaron como sigue: cenizas de 2,88% a 18,20%, extraíbles totales de 9,84% a 29,70%, holocelulosa de 44,82% a 66,20% y lignina de 25,37% a 31,70%. El análisis de varianza de los resultados, indicó que la cantidad de componentes químicos es diferente estadísticamente ($P<0,01$) entre los tres tipos de material, a excepción de los extraíbles solubles en ciclohexano y la lignina.

Palabras clave: cenizas, extraíbles, holocelulosa, lignina, palo de Brasil.

Abstract

A chemical analysis was performed on the sapwood, heartwood and bark of *Haematoxylon brasiletto* Karsten (palo de brasil) to identify its main chemical components. Ash, ash analysis, extractives, holocellulose and lignin content were determined. The results ranged of 2,88% to 18,20% for ash, 9,84% to 29,70% total extractives, 44,82% to 66,20% for holocellulose and 25,37% to 31,70% for lignin. The variance analysis of the results indicated that the amount of chemical components is statistically different (P<0,01) between types of wood and bark except cyclohexane extractives and lignin.

Key words: ash, extractives, holocellulose, lignin, palo de Brasil.

Introducción

La especie *Haematoxylum brasiletto* Karsten pertenece a la familia *Leguminosae*, crece en las selvas bajas caducifolias y bosques deciduos entre los 100 msnm y los 1000 msnm, en terrenos abiertos de suelos someros y pedregosos y en cañadas de suelos profundos. Se encuentra distribuido desde el Norte y centro de México (Baja California, Sonora, Chihuahua, Guerrero, Jalisco, Michoacán y Oaxaca) hasta Colombia y Venezuela, pasando por Centroamérica y el Caribe, recibe nombres comunes como Brasil, palo de Brasil, palo de tinta, palo tinto, azulillo y brasileto. Es un árbol

espinoso de 3 m a 10 m de alto con el tronco profundamente acanalado (Amstrong, 1992; Conafor, 2011).

Su madera se utiliza para muebles, artesanías, construcción de vivienda rural y leña (Olivares-Pérez *et al.*, 2011). El duramen de esta especie se utiliza en la medicina tradicional para la depresión, los trastornos renales, los dolores de muelas, para problemas cardiacos y digestivos, fiebres, infecciones de membranas mucosas y hemorragias; el extracto acuoso del duramen es reconocido como un antibiótico efectivo (Amstrong, 1992), mientras que el extracto metanólico de la corteza es inhibidor de bacterias y levaduras (Rivero, 2008). La madera y la corteza se emplean en la obtención de tintes para textiles en tonalidades rosa y rojo (Vigueras y Portillo, 2012) y para pastas dentífricas (Conafor, 2011). Los taninos del duramen de esta especie se pueden emplear en la formulación de adhesivos tanino-urea (Pedraza-Bucio y Rutiaga-Quiñones, 2011).

Las especies tropicales pueden representar un recurso muy importante para la población de las zonas donde se desarrollan. Sin embargo, la gran mayoría de estas especies son desaprovechadas o en su defecto subutilizadas, entre otras causas, por el desconocimiento de sus características químicas. Particularmente para la especie considerada en este estudio, se desconocen antecedentes de sus componentes químicos estructurales, solo se han publicado algunos aspectos químicos de sus extraíbles.

Objetivo

Determinar el pH, el contenido y tipo de sustancias inorgánicas, el contenido de extraíbles, de holocelulosa y de lignina en la albura, el duramen y la corteza de *Haematoxylon brasiletto* Karsten, procedente del municipio de Tacámbaro, Michoacán.

Materiales y métodos

Colecta y preparación del material

Para el estudio se seleccionó un árbol *Haematoxylum brasiletto* (palo de brasil), éste fue colectado en la localidad El Copalito, municipio de Tacámbaro, Michoacán, México. Dicha localidad se ubica al centro del Estado con coordenadas 19°14’ de latitud norte y 101°28’ de longitud oeste, a 1240 msnm, su clima es tropical y templado con lluvias en verano, tiene una precipitación pluvial anual de 1451,6 mm y temperaturas que oscilan entre 8,8 °C a 26,9 °C (INEGI, 2013).

Del ejemplar se tomó, a la altura de 1,3 m del tocón, una muestra de 30 cm de espesor, de la cual se obtuvieron muestras representativas de la zona del duramen, de la albura y de la corteza (Fig. 1). El material obtenido fue astillado, secado al aire y molido en un equipo Wiley. La harina obtenida se clasificó con tamices, para el análisis químico se empleó la fracción que pasó por la malla 40 (425 mm) y que fue retenida en la malla 60 (250 mm). Posteriormente se determinó el porcentaje de humedad por el método de deshidratación a 105 °C ± 3 °C de acuerdo con T 264 cm-97 (TAPPI, 2000). Las determinaciones se realizaron por duplicado.

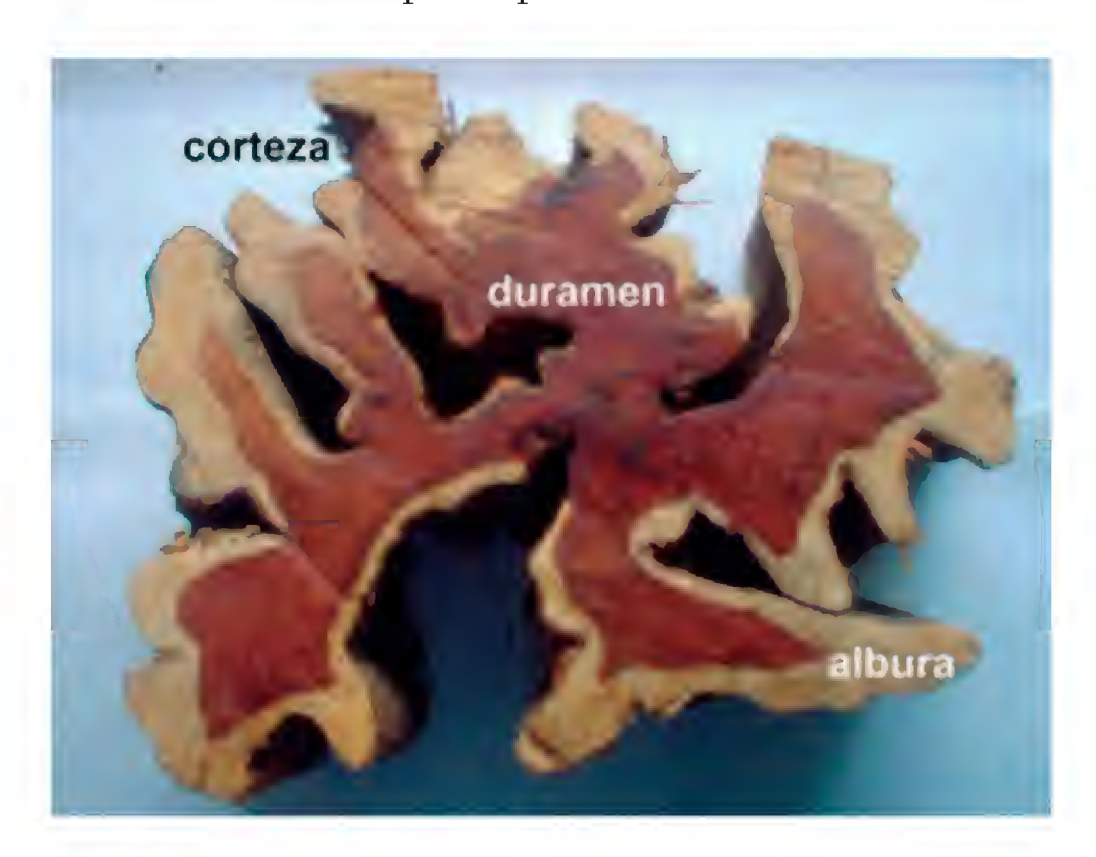


FIGURA 1. Muestra de *Haematoxylum brasiletto*.

Análisis químico

Sustancias inorgánicas. El contenido de sustancias inorgánicas se calculó gravimétricamente, después de quemar cuidadosamente la harina de madera sin extraer, para posteriormente calcinar en una mufla a 525 °C, utilizando crisoles de níquel, en apego a la norma T 211 om-93 (TAPPI, 2000).



Para la identificación de los elementos presentes en las sustancias inorgánicas se realizó su microanálisis en un espectrómetro de Rayos X, acoplado a un Microscopio Electrónico de Barrido marca Jeol modelo JSM-6400. Las condiciones de operación para los análisis fueron 20 kV y 8,5 segundos (Téllez *et al.*, 2010), obteniéndose los espectros respectivos en puntos aleatorios eliminándose el carbono y oxígeno que pudieran haber quedado como residuo de los componentes orgánicos.

Sustancias extraíbles. Para determinar la cantidad total de sustancias extraíbles en 6 g de harina de madera se aplicó una extracción sucesiva sólido-líquido en equipo Soxhlet con 200 ml de los siguientes disolventes: ciclohexano, acetona y metanol, finalmente agua caliente bajo reflujo. Los periodos de extracción fueron de cuatro horas. Los disolventes se recuperaron en un rotavapor aplicando vacío y el extracto respectivo se colocó en un desecador, con gel de sílice como agente desecante, hasta peso constante. El contenido de extraíbles para cada disolvente se calculó dividiendo el peso del extracto anhidro entre el peso de la harina anhidra referido porcentualmente. Los extraíbles totales se calcularon con la suma de los porcentajes de los extraíbles de cada disolvente. La harina de madera, después de la extracción sucesiva, se designó como harina libre de extraíbles y se empleó para determinar lignina y holocelulosa.

Holocelulosa. El contenido de holocelulosa se determinó de acuerdo con lo establecido en la norma D1104-57 (ASTM, 1981) empleando harina libre de extraíbles, la muestra se trató con hipoclorito de sodio remplazando el gas cloro, se lavó con etanol y posteriormente con etanol-monoetanolamina, seguido de dos lavados más con etanol y con agua caliente. El tratamiento indicado anteriormente se repitió en cuatro ocasiones hasta que la adición de etanol-monoetanolamina no oscureció la muestra. La muestra se secó a 35 °C hasta alcanzar peso constante. El contenido de holocelulosa se calculó dividiendo el peso del residuo anhidro entre el peso de la harina libre de extraíbles anhidra referido porcentualmente.

Lignina. El contenido de lignina en la harina de madera libre de extraíbles se determinó de conformidad con la técnica Runkel y Wilke (1951). A un 1 g de muestra de harina de madera libre de extraíbles se le adicionaron 50 ml de ácido sulfúrico al 72% y 5 ml de ácido bromhídrico al 40%, agitándola y dejándola reposar por 2 horas. Posteriormente, se le agregaron 200 ml de agua destilada y se llevó a ebullición por 5 minutos. Finalmente, se filtró en embudos Büchner empleando papel filtro Whatman No. 40 y las muestras se lavaron en repetidas ocasiones hasta eliminar los residuos de ácido. Para finalizar se llevaron a peso constante en un horno a 103 °C. El contenido de lignina se calculó dividiendo el peso de la muestra anhidra entre el peso de la harina libre de extraíbles anhidra referido porcentualmente.

Análisis estadísticos

Los valores de los componentes químicos se procesaron mediante un análisis de varianza con un factor y tres niveles (albura, duramen y corteza) con el programa *Statistica* ver. 7.0. El valor de probabilidad (α) establecido para calificar como significativas a las diferencias encontradas en la fuente de variación fue de 0,01.

Resultados

Los resultados promedio y la desviación estándar de los componentes químicos para cada uno de los materiales se presentan en la tabla 1. Junto a estos valores se incluyen letras minúsculas, éstas representan la comparación entre los tipo de madera; los valores con la misma letra indican que no existe diferencia significativa ($P < 0,01$). El resultado del microanálisis de las cenizas mediante Rayos X se presenta en la tabla 2.

Discusión

Sustancias inorgánicas. El mayor contenido de sustancias inorgánicas o cenizas correspondió a la corteza (18,20%), seguido de albura (4,31%) y duramen (2,88%) ($P < 0,01$). El valor obtenido en la corteza es mayor al intervalo encontrado en la literatura para especies tropicales de 5,0%

TABLA 1. Composición química de la madera y la corteza de *H. brasiletto*.

Componentes	*Contenido (%)*			*P*
	Duramen	*Albura*	*Corteza*	
Sustancias inorgánicas[1]	2,88 (±0,03) a	4,31 (±0,02) b	18,20 (±0,01) c	**
Extraíbles				
Ciclohexano[1]	1,33 (±0,11) a	1,03 (±0,07) a	1,22 (±0,01) a	ns
Acetona[1]	17,50 (±0,88) b	3,90 (±0,66) a	2,41 (±0,10) a	**
Metanol[1]	8,76 (±1,19) b	2,02 (±0,61) a	1,88 (±0,06) a	**
Agua caliente[1]	2,11 (±0,03) a	2,89 (±0,13) b	5,00 (±0,01) c	**
Total	29,70 (±0,45) b	9,84 (±0,15) a	10,51 (±0,06) a	**
Holocelulosa[2]	66,20 (±1,44) c	51,54 (±1,55) b	44,80 (±0,91) a	**
Lignina[2]	25,37 (±1,55) a	26,33 (±2,64) a	31,70 (±0,58) a	ns

[1]Contenido con base en madera libre de humedad
[2]Contenido con base en madera libre de humedad y extraíbles
P: probabilidades límites en ANOVA con un factor. **: $P < 0{,}01$; ns: $P > 0{,}05$

TABLA 2. Sustancias inorgánicas (en porcentaje) en la madera y la corteza de *H. brasiletto*.

Elemento	*Duramen*	*Albura*	*Corteza*
Magnesio	3,26	3,76	1,18
Fósforo	nd	3,71	1,83
Potasio	2,09	11,26	10,36
Calcio	94,65	81,28	85,03
Molibdeno	nd	nd	1,60

nd = no detectado

a 13,1% (Fengel y Wegener, 1989; Ávila, 2012); no obstante, los dos primeros autores indican que la corteza de algunas especies puede contener diez veces más sustancias inorgánicas que en su madera. En cuanto al contenido en albura y duramen, se encuentran en el intervalo publicado para otras maderas tropicales (0,11% a 6,50%) (Torelli y Cufar, 1995).

Se sabe que el calcio, el potasio y el magnesio son los principales elementos presentes en la madera (Fengel y Wegener, 1989); mientras que el calcio y el potasio lo son en la corteza, además de trazas de otros elementos como sales, *e.g.* fosfatos (Sjöström, 1981). La mayor presencia de potasio, magnesio y fósforo en albura que en corteza y mayor presencia de calcio en corteza que en albura coincide con lo indicado por Rowell (2005). El molibdeno no es un elemento común, no obstante Hon y Shiraichi (2001) lo ha encontrado en madera de *Abies grandis*.

Sustancias extraíbles. La menor cantidad de extraíbles se obtuvo con ciclohexano en un intervalo de 1,03% a 1,33% (P=0,0581), seguido de los obtenidos con agua caliente, metanol y acetona. Por un lado, se encontró diferencias significativas en el contenido de extraíbles solubles en acetona y metanol presentes en el duramen y los que contiene la albura y la corteza; por otro lado hubo diferencias del contenido de extraíbles solubles en agua caliente en los tres tipos de materiales. Este patrón de menor solubilidad con los disolventes no polares, seguida de mayor solubilidad con disolventes de polaridad media y disminuyendo nuevamente en la extracción acuosa fue observado también en los resultados de la extracción sucesiva en el duramen de *Andira inermis* (Téllez *et al.*, 2010) y en el duramen de *Enterolobium cyclocarpum* (Ramos *et al.*, 2011). La cantidad total de sustancias extraíbles revela el incremento típico de albura (9,84%) a duramen (29,70%) encontrado en otras especies tropicales como *Dalbergia granadillo* (14,16% en albura a 33,35% en duramen) y



Platymiscium lasiocarpum (10,19% en albura a 26,93% en duramen) (Rutiaga *et al*., 2010). Respecto a los extraíbles totales presentes en la corteza de la especie en estudio (10,51%), el valor es ligeramente menor al intervalo hallado por Fengel y Wegener (1989) para maderas tropicales (11,4% a 21%).

Es conocido que los extraíbles del duramen y la corteza pueden presentar alta resistencia al biodeterioro; a este respecto se ha encontrado que el extracto metanólico de corteza de Brasil es inhibidor de bacterias y levaduras, en él se ha identificado hematoxilina, brasilina y ácido gálico como los mayores inhibidores de estos agentes biológicos (Rivero, 2008).

Holocelulosa. Los contenidos de holocelulosa determinados en madera se encuentran en el intervalo publicado para las especies tropicales (49,2% a 82%) (Rowell, 1984; Rutiaga *et al*., 2010); mientras que el contenido de holocelulosa en diferentes cortezas es inferior al intervalo encontrado por Fengel y Wegener (1989) que varía de 51,6% a 83,4%.

Lignina. El contenido de lignina determinado en la albura, el duramen y la corteza de *H. brasiletto* (Tabla 1) no presentó diferencia significativa (P = 0,0717) entre el tipo de material. Los valores obtenidos son similares a los publicados para la madera de *Dalbergia granadillo* (26,25% a 26,50%) y de *Platymiscium lasiocarpum* (25,25% a 25,95% en duramen) (Rutiaga *et al*., 2010). Pero inferior al contenido de lignina en la corteza de diferentes especies (37,8% a 44,7%) (Fengel y Wegener, 1989).

Conclusiones

Se encontró que los componentes químicos variaron como sigue: cenizas de 2,88% a 18,20%, extraíbles totales de 9,84% a 29,70%, holocelulosa de 44,82% a 66,20% y lignina de 25,37% a 31,70%.

La cantidad de componentes químicos es diferente estadísticamente (P < 0,01) entre duramen, albura y corteza, a excepción de los extraíbles solubles en ciclohexano y la lignina.

Mediante la extracción sucesiva aplicada, la mayor solubilidad de la madera fue en acetona y la menor en ciclohexano. Se encontró menor cantidad de holocelulosa en la corteza, seguido de la albura y finalmente en el duramen; caso contrario a la lignina que aumenta su proporción del duramen hacia la corteza.

Referencias

Amstrong, W.P. 1992. Logwood and Brazilwood: Trees that spawned 2 Nations. (Modificado de: Pacific Horticulture 53:38-43). [Internet]. Disponible en: http://waynesword.palomar.edu/ecoph4.htm. Fecha de acceso: 03/14/2014.

ASTM (American Society for Testing and Materials). 1981. Annual Book of ASTM Standards. Section four. Construction. Volume 04.10 Wood. West Conshohocken, PA. 708 p.

Ávila C., L. 2012. Fundamentos de Química de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – Morevalladolid. Morelia. 113 p.

Conafor (Comisión Nacional Forestal). 2011. *Haematoxylum brasiletto* Karsten. [Internet]. Disponible en: http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/929 Haematoxylum%20brasiletto.pdf. Fecha de acceso: 19/12/2013.

Fengel, D. y G. Wegener. 1989. Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter. Berlín. 415 p.

Hon, D. y N. Shiraichi. 2001. Wood and cellulosic chemistry. 2ª ed. Mercel Dekker. Nueva York. 914 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013. México en Cifras. Tacámbaro, Michoacán. [Internet]. Disponible en: www.inegi.org.mx. Fecha de acceso: 19/12/2013.

Olivares-Pérez, J., J.F. Avilés-Nova, B. Albarrán-Portillo, S. Rojas-Hernández y O. Castelán-Ortega. 2011. Identificación, usos y medición de leguminosas arbóreas forrajeras en ranchos ganaderos del sur del estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(2):739 -748.

Pedraza-Bucio, F.E. y J. G. Rutiaga-Quiñones. 2011. Extracto tánico de la madera de palo de Brasil. *Conciencia Tecnológica* 42:36-41.

Ramos-Pantaleón, D., L.E.A. Ávila-Calderón, H.G. Ochoa-Ruíz y J.G. Rutiaga-Quiñones. 2011. Contenido de sustancias extraíbles en la madera de *Enterolobium*

cyclocarpum (Jacq.) Griseb. (*Leguminosae*). *Ciencia Nicolaita* 53: 7-19.

Rivero-Cruz, J.F. 2008. Antimicrobial compounds isolated from *Haematoxylon brasiletto*. *Journal of Ethnopharmacology* 119(1,2):99–103.

Rowell, R., ed. 1984. The chemistry of solid wood. American Chemical Society. Advances in chemistry. Washington. D.C. 614 p.

Rowell, R. 2005. Handbook of wood chemistry and wood composites. Taylor & Francis. Boca Raton. 473 p.

Runkel, R. y Y.K.D. Wilke. 1951. Zur Kenntnis des thermoplastischen Verhaltens von Holz. *Holz Roh Werkstoff* 9:260-270.

Rutiaga Q., J.G., F.E. Pedraza Bucio y P. López Albarrán. 2010. Componentes químicos principales de la madera de *Dalbergia granadillo* Pittier y de *Platymiscium lasiocarpum* Sandw. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16(2):179-186.

Sjöström, E. 1981. Wood chemistry. Fundamentals and applications. Academic Press. Nueva York. 223 p.

TAPPI (Technical Association for Pulp and Paper Industry). 2000. TAPPI Test Methods (1994-1995). TAPPI Press. Atlanta, GA.

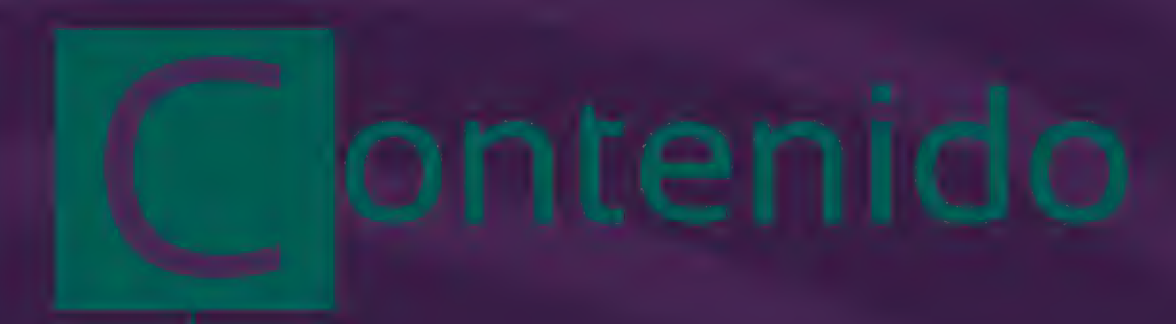
Téllez S., C., H.G. Ochoa-Ruíz, R. San Juan-Dueñas y J.G. Rutiaga-Quiñones. 2010. Componentes químicos del duramen de *Andira inermis* (W. Wright) DC. (*Leguminosae*). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16(1):87-93.

Torelli, N. y K. Cufar. 1995. Mexican tropical hardwoods. Comparative study of ash and silica content. *Holz Roh-Werkst* 53:61-62.

Vigueras, A.L. y L. Portillo. 2012. Teñido de fibras con grana cochinilla y otros colorantes naturales. *In:* FAO. Actas de la Segunda Reunión para el Aprovechamiento Integral de la Tuna y otras Cactáceas y I Reunión Sudamericana CACTUSNET FAO-ICARDA. Argentina. p:165-175.

Manuscrito recibido el 7 de febrero de 2014.
Aceptado el 28 de abril de 2014.

Este documento se debe citar como:
Ávila-Calderón, L.E.A. y J.G. Rugiata-Quiñones. 2014. Componentes químicos de la madera y la corteza de *Haematoxylum brasiletto* Karsten (Leguminosae). *Madera y Bosques* 20(2):153-158.



artículos científicos

notas científicas



